WIADOMOŚCI TECHNICZNE UZBROJENIA

KWARTALNIK WYDAWANY PRZEZ
DEPARTAMENT UZBROJENIA M. S. WOJSK.

ROK JEDENASTY. ZESZYT Nr 44.
WARSZAWA — KWIECIEŃ 1939 r.

Treść artykułów jest wyrazem osobistych poglądów autorów na daną sprawę.

TREŚĆ:

623.558.2:531.567

Prof. dr WITOLD POGORZELSKI

BADANIA NAD ZAGADNIENIEM PRAWDOPODOBIEŃSTWA TRAFIENIA W TEORII STRZELANIA DO SAMOLOTU [1])

1. Wstęp.

Przedmiotem tej pracy jest obliczenie prawdopodobieństwa uszkodzenia samolotu pociskami wybuchającymi, przy czym uwzględniać będziemy nie tylko fakt, iż to uszkodzenie nastąpi z pewnością, gdy pocisk wybuchnie w pewnym obszarze (D_1) zawierającym samolot, ale również, że uszkodzenie samolotu może nastąpić z pewnym *prawdopodobieństwem względnym* wskutek rażenia odłamkami, gdy pocisk wybuchnie w pewnym obszarze (D_2) nieco odległym od samolotu i obejmującym obszar (D_1).

Ze względu na trudność zagadnienia, rozważymy go wpierw, zaniedbując ruch samolotu, a następnie rozwiążemy dla samolotu w ruchu, co jest najbardziej zasadnicze w tej pracy.

2. Wyznaczenie prawdopodobieństwa bez uwzględnienia ruchu samolotu.

Rozważmy strzelanie do samolotu pociskami wybuchającymi. Jeśli zaniedbamy ruch własny samolotu, czyli będziemy go traktowali jako przedmiot w spoczynku, wtedy czas nie gra roli w rozważaniach; przyjmując dla rozrzutu pocisków, powodowanego błędami przypadkowymi, prawo G a u s s a, możemy wyrazić prawdopo-

---

[1]) Praca niniejsza wydrukowana była po raz pierwszy w języku francuskim w wydawnictwie p: t. „Annales de l'Académie des Sciences Techniques à Varsovie" (t. V, 1938).

dobieństwo, że pocisk wybuchnie w elemencie objętości dv w punkcie $A(x, y, z)$, w postaci następującej:

$$\frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} abc} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}} . dv. \qquad (1)$$

W tym wyrażeniu (x, y, z) są współrzędnymi prostokątnymi względem układu osi $Oxyz$, którego początek O jest *środkiem rozrzutu*, oś Ox jest równoległa do prędkości pocisku, osi Oy i Oz są prostopadłe do tej prędkości. Parametr dodatni a nazywa się *odchyleniem jednostkowym podłużnym*, parametry zaś b i c nazywają się *odchyleniami jednostkowymi poprzecznymi.*

Wybór postaci obszaru (D_1), o którym mówiliśmy we wstępie, jest dość dowolny; możemy przyjąć, że jest to pewna kula, walec albo po prostu pewien sześcian, którego środkiem jest środek rozrzutu i którego ściany są równoległe do płaszczyzn współrzędnych.

Prawdopodobieństwo P_1 uszkodzenia samolotu pociskami wybuchającymi w obszarze D_1 wyrazi się przez całkę następującą:

$$P_1 = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} abc} \iiint_{D_1} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}} dv \qquad (2)$$

Niech będzie teraz (D_2) obszarem zewnętrznym względem obszaru D_1 i obejmującym ten obszar, złożonym ze wszystkich takich punktów $A(x, y, z)$, że jeśli pocisk wybuchnie w tych punktach, to odłamki pocisku mogą uszkodzić samolot z pewnym prawdopodobieństwem względnym $f(A)$ zależnym od położenia punktu A. Według praw prawdopodobieństwa złożonego, prawdopodobieństwo P_2 uszkodzenia samolotu przez pociski wybuchające w obszarze D_2 będzie określone całką potrójną:

$$P_2 = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} abc} \iiint_{D_2} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{c^2}{z^2}} f(A)\, dv \qquad (3)$$

Prawdopodobieństwo całkowite P uszkodzenia samolotu będzie sumą prawdopodobieństw (2) i (3):

$$P = P_1 + P_2$$

Wiadomo, że odchylenie jednostkowe podłużne a (w głąb) jest znacznie większe od odchyleń jednostkowych poprzecznych b i c

(w szerz i w zwyż) i że te ostatnie mało się różnią od siebie; wobec tego przyjmiemy nadal

$$b = c$$

Załóżmy, że obszar D_1 jest sześcianem (zawierającym samolot), którego środek jest środkiem rozrzutu O i którego krawędzie, równoległe do osi współrzędnych, mają długość $2p$ dostatecznie małą, żeby uszkodzenie samolotu nastąpiło z pewnością, gdy pocisk wybuchnie w dowolnym punkcie powyższego sześcianu. Wybór sześcianu jako obszaru D_1 jest wygodny w rachunkach następnych, gdyż wtedy zmienne rozdzielają się i pewne całki potrójne rozkładają się na iloczyny całek pojedyńczych. Prawdopodobieństwo P_1, określone wzorem (2), wyrazi się obecnie w sposób następujący:

$$P_1 = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} abc} \int_{-p}^{+p} e^{-\frac{x^2}{a^2}} dx \cdot \int_{-p}^{+p} e^{-\frac{y^2}{b^2}} dy \cdot \int_{-p}^{+p} e^{-\frac{z^2}{c^2}} dz$$

skąd wynika

$$P_1 = \Theta\left(\frac{p}{a}\right) \Theta\left(\frac{p}{b}\right) \Theta\left(\frac{p}{b}\right) \tag{5}$$

Θ oznacza całkę Gaussa:

$$\Theta(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{o}^{u} e^{-t^2} dt \tag{6}$$

Niech a' i b' będą *odchyleniami prawdopodobnymi*, to znaczy takimi, że

$$\Theta\left(\frac{a'}{a}\right) = \frac{1}{2}; \qquad \Theta\left(\frac{b'}{b}\right) = \frac{1}{2};$$

stąd wynikają związki

$$\frac{a'}{a} = 0{,}4769; \qquad \frac{b'}{b} = 0{,}4769 \tag{7}$$

które pozwalają obliczyć odchylenia jednostkowe a, b, gdy znane są z doświadczenia odchylenia prawdopodobne a' i b'.

Głównym zagadnieniem jest teraz obliczenie prawdopodobieństwa P_2 uszkodzenia samolotu przez odłamki pocisków, wybuchających w obszarze D_2, obejmującym obszar D_1. Przyjmiemy, iż obszar D_2 jest częścią sześcianu o środku O i o krawędziach równoległych do osi współrzędnych, leżącą na zewnątrz sześcianu D_1. Niech

$2q$ oznacza długość boków sześcianu zewnętrznego; wartość tę przyjmiemy zależnie od zasięgu działania odłamków pocisku.

Aby obliczyć prawdopodobieństwo P_2, należy przyjąć pewne wyrażenie dla prawdopodobieństwa względnego $f(A)$ we wzorze (3), że odłamki pocisku wybuchającego w punkcie A obszaru D_2 uszkodzą samolot. Otóż przyjmiemy bardzo naturalne założenie, że prawdopodobieństwo $f(A)$ jest proporcjonalne do *kąta bryłowego*, pod jakim jest widziany samolot z punktu A. Rachunek ścisły byłby jednak wtedy bardzo trudny, bez znaczenia praktycznego, wobec tego postaramy się powyższy kąt bryłowy zastąpić funkcją zbliżoną, prostszą, która na granicy obszarów D_1 i D_2 przybierałaby wartości bliskie jedności, lecz nie wyższe od jedności. Nadto, ponieważ ze względu na zastosowanie trzeba baczyć, żeby *nie przecenić* wartości prawdopodobieństwa, funkcja zastępcza winna przybierać wartości bliskie, nie przekraczające powyższego kąta bryłowego. Warunki te spełnia najlepiej funkcja odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości $\overline{AO}$ punktu A od środka rozrzutu O; przyjmiemy więc

$$f(A) = \frac{k}{\overline{AO}^2} \tag{8}$$

gdzie stała k winna być obrana w ten sposób, żeby na powierzchni sześcianu D_1 wartości funkcji (8) nie były wyższe od jedności; przyjmiemy więc równość

$$k = p^2 \tag{9}$$

Żeby obliczyć całkę (3) rozciągniętą na obszar D_2, rozłóżmy ten obszar na dwa obszary D_2' i D_2'', z których jeden D_2' zawiera punkty spełniające nierówności

$$p < |x| < q; \quad 0 < |y| < p; \quad 0 < |z| < p \tag{10}$$

a drugi D_2'' jest dopełniającym do obszaru D.

Oznaczmy przez P_2' i P_2'' części całki (3) rozciągnięte na obszary D_2' i D_2'', mamy zatem:

$$\left.\begin{aligned} P_2' &= \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} abc} \iiint_{D_2'} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}} \cdot \frac{k}{x^2+y^2+z^2}\, dx\, dy\, dz \\ P_2'' &= \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} abc} \iiint_{D_2''} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}} \cdot \frac{k}{x^2+y^2+z^2}\, dx\, dy\, dz \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Aby uprościć rachunek całek (11), postaramy się zastąpić funkcję

$$f(A) = \frac{k}{x^2 + y^2 + z^2} \tag{12}$$

przez funkcję zbliżoną, rozkładalną na czynniki zależne tylko od jednej zmiennej, przy czym, aby nie przecenić prawdopodobieństwa, należy baczyć, żeby funkcja upraszczająca nie była większa od funkcji (12).

Otóż dla obszaru D_2' zmiany odległości $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ w płaszczyznach $x = \text{const.}$ są dość nieznaczne i mamy

$$\frac{k}{x^2 + y^2 + z^2} > \frac{k}{2p^2 + x^2}; \tag{13}$$

według naszej uwagi weźmiemy zatem funkcję z prawej strony nierówności (13) jako przybliżenie upraszczające funkcji $f(A)$ w obszarze D_2' i otrzymamy do obliczenia całkę

$$P_2' = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} a b^2} \iiint\limits_{D_2'} e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{b^2}} \cdot \frac{k}{2p^2 + x^2}\, dx\, dy\, dz \tag{14}$$

która istotnie rozkłada się na iloczyn. Mamy mianowicie:

$$P_2' = \frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}} a b^2} \int_p^q \frac{e^{-\frac{x^2}{a^2}}\, dx}{2p^2 + x^2} \cdot \int_{-p}^{p} e^{-\frac{y^2}{b^2}}\, dy \cdot \int_{-p}^{p} e^{-\frac{z^2}{b^2}}\, dz =$$

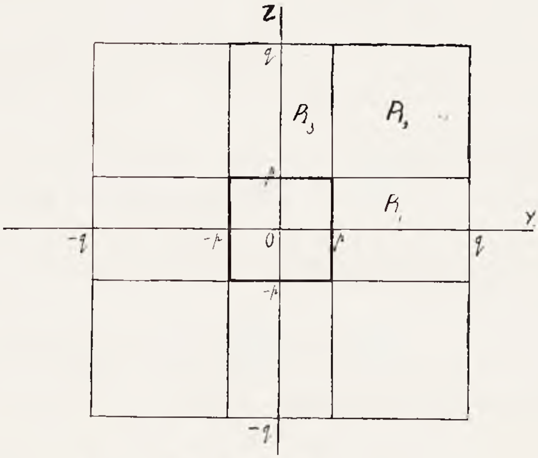
$$= \frac{1}{\sqrt{\pi}}\, \Theta^2\left(\frac{p}{b}\right) \frac{k}{p^2} \int_{\frac{p}{a}}^{\frac{q}{a}} \frac{e^{-u^2}\, du}{1 + \frac{a^2}{2p^2} u^2} \tag{15}$$

Dla całki P_2'' mamy wyrażenie

$$P_2'' = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} a b^2} \int_{-q}^{q} \left[\iint\limits_{S_x} e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{b^2}} \cdot \frac{k}{x^2 + y^2 + z^2}\, dy\, dz \right] dx \tag{16}$$

gdzie S_x jest rzutem na płaszczyznę Oyz przecięcia obszaru D_2'' płaszczyzną $x = \text{const}$; jest to więc obszar płaski zawarty między brzegami dwóch kwadratów o środku O i o bokach $2p$ i $2q$ równo-

ległych do osi Oy i Oz (rysunek). Widzimy następnie, iż ze względu na parzystość potęg zmiennych y, z i niezmienność funkcji podcałkowej względem przestawienia tych zmiennych, całka podwójna na obszar S_x w wyrażeniu (16) równa jest sumie następującej:



$$\iint\limits_{S_x} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{b^2}} \cdot \frac{k}{r^2}\, dy\, dz =$$

$$= 8 \iint\limits_{R_1} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{b^2}} \cdot \frac{k}{r^2}\, dy\, dz + \tag{17}$$

$$+ 4 \iint\limits_{R_2} e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{b^2}} \cdot \frac{k}{r^2}\, dy\, dz$$

gdzie R_1 jest prostokątem określonym nierównościami

$$(R_1) \qquad 0 < z < p; \quad p < y < q \tag{18}$$

i R_2 — prostokątem określonym nierównościami

$$(R_2) \qquad p < y < q; \quad p < z < q \tag{19}$$

Dla punktów prostokąta R_1 mamy

$$\frac{1}{x^2+y^2+z^2} > \frac{1}{2p^2+y^2}, \text{ gdy } |x| < p \tag{20}$$

oraz

$$\frac{1}{x^2+y^2+z^2} = \frac{1}{x^2 y^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{x^2}+\frac{1}{y^2}+\frac{z^2}{x^2 y^2}} > \frac{1}{x^2 y^2 \left(\frac{2}{p^2}+\frac{z^2}{p^4}\right)}, \text{ gdy } |x| > p. \tag{20'}$$

Dla punktów prostokąta R_2 mamy

$$\frac{1}{x^2+y^2+z^2}=\frac{1}{y^2 z^2\left(\frac{x^2}{y^2 z^2}+\frac{1}{y^2}+\frac{1}{z^2}\right)}>\frac{1}{y^2 z^2\left(\frac{x^2}{p^4}+\frac{2}{p^2}\right)} \tag{21}$$

Otóż przyjmiemy funkcje z prawej strony nierówności (20), (20'), (21) jako przybliżenia funkcji $\frac{1}{r^2}$ i otrzymamy dla całki (17) wyrażenie

$$\begin{aligned}P_2''=&\frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}}ab^2}\int\limits_o^p\left[8\int\limits_o^p\int\limits_o^q e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{b^2}}\cdot\frac{dy\,dz}{2p^2+y^2}\right]dx+\\&+\frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}}ab^2}\int\limits_p^q\left[8\int\limits_o^p\int\limits_p^q e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{b^2}}\cdot\frac{dy\,dz}{x^2y^2\left(\frac{2}{p^2}+\frac{x^2}{p^4}\right)}\right]dx+\\&+\frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}}ab^2}\int\limits_o^q\left[4\int\limits_p^q\int\limits_p^q e^{-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{b^2}}\cdot\frac{dy\,dz}{y^2z^2\left(\frac{2}{p^2}+\frac{x^2}{p^4}\right)}\right]dx.\end{aligned} \tag{22}$$

Wszystkie całki powyższe rozkładają się na iloczyn całek pojedynczych; otrzymamy mianowicie

$$\begin{aligned}P_2''=&\frac{2k}{p^2\sqrt{\pi}}\Theta\left(\frac{p}{a}\right)\Theta\left(\frac{p}{b}\right)\cdot\int\limits_{\frac{p}{b}}^{\frac{q}{b}}\frac{e^{-u^2}du}{1+\frac{b^2}{2p^2}u^2}+\\&+\frac{8kp^2}{\pi^{\frac{3}{2}}a^2b^2}\int\limits_{\frac{p}{a}}^{\frac{q}{a}}\frac{e^{-u^2}du}{u^2}\int\limits_{\frac{p}{b}}^{\frac{q}{b}}\frac{e^{-u^2}du}{u^2}\cdot\int\limits_o^{\frac{p}{b}}\frac{e^{-u^2}du}{1+\frac{b^2}{2p^2}u^2}+\\&+\frac{4kp^2}{\pi^{\frac{3}{2}}b^2}\left(\int\limits_{\frac{p}{b}}^{\frac{q}{b}}\frac{e^{-u^2}du}{u^2}\right)^2\cdot\int\limits_o^{\frac{q}{a}}\frac{e^{-u^2}du}{1+\frac{a^2}{2p^2}u^2}.\end{aligned} \tag{23}$$

Zauważmy następnie, iż całka

$$\int \frac{e^{-u^2}\,du}{u^2}$$

wyraża się przez całkę Gaussa, gdyż mamy, całkując przez części

$$\int \frac{e^{-u^2}\,du}{u^2} = -\frac{1}{u}\,e^{-u^2} - 2\int e^{-u^2}\,du\,,$$

a zatem, sumując wyrażenia (15) i (23) i podstawiając w nich $k=p^2$, otrzymamy prawdopodobieństwo P_2 w postaci następującej:

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\Theta^2\left(\frac{p}{b}\right)\int\limits_{\frac{p}{a}}^{\frac{q}{a}} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+\dfrac{a^2}{2\,p^2}\,u^2} + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\,\Theta\left(\frac{p}{a}\right)\Theta\left(\frac{p}{b}\right)\int\limits_{\frac{p}{b}}^{\frac{q}{b}} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+\dfrac{b^2}{2\,p^2}\,u^2} +$$

$$+ \frac{8\,p^4}{\sqrt{\pi}\,a^2\,b^2}\left[\Theta_1\left(\frac{p}{a}\right) - \Theta_1\left(\frac{q}{a}\right)\right]\left[\Theta_1\left(\frac{p}{b}\right) - \Theta_1\left(\frac{q}{b}\right)\right]\int\limits_{o}^{\frac{p}{b}} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+\dfrac{b^2}{2\,p^2}\,u^2} + \quad (24)$$

$$+ \frac{4\,p^4}{\sqrt{\pi}\,b^4}\left[\Theta_1\left(\frac{p}{b}\right) - \Theta_1\left(\frac{q}{b}\right)\right]^2 \int\limits_{o}^{\frac{q}{a}} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+\dfrac{a^2}{2\,p^2}\,u^2}$$

gdzie oznaczono

$$\Theta_1\,(u) = \frac{1}{u\,\sqrt{\pi}}\,e^{-u^2} + \Theta\,(u) \qquad (25)$$

Prawdopodobieństwo P_2 wyraża się więc przez całkę Gaussa Θ i przez całkę o postaci

$$\int\limits_{o}^{\mu} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+s\,u^2} \qquad (26)$$

gdzie s jest stałą dodatnią.

Tablice liczbowe całki Gaussa $\Theta\,(u)$ są dobrze znane, zajmiemy się więc tylko omówieniem rachunku liczbowego całki (26), która nie jest przestępną elementarną. Jeśli granica górna μ jest

mniejsza od jedności lub nieznacznie od niej większa, wtedy można obliczyć całkę (26) rozwijając funkcję e^{-u^2} na szereg. Ograniczając się do potęg szóstych zmiennej u, otrzymamy wartość przybliżoną następującą:

$$\int_0^{\mu} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+s\,u^2} \approx \int_0^{\mu} \frac{\left|1-u^2+\frac{u^4}{2}-\frac{u^6}{6}\right|}{1+s\,u^2}\,du = \int_0^{\mu} \left|-\frac{1}{6\,s}u^4+\frac{3\,s+1}{6\,s^2}u^2- \right. \tag{27}$$

$$\left. -\frac{6\,s^2+3\,s+1}{6\,s^3}+\frac{6\,s^3+6\,s^2+3\,s+1}{6\,s^3\,(1+s\,u^2)}\right|\,du$$

stąd

$$\int_0^{\mu} \frac{e^{-u^2}\,du}{1+s\,u^2} \approx -\frac{1}{30\,s}\mu^5+\left(\frac{1}{6\,s}+\frac{1}{18\,s^2}\right)\mu^3-\left(\frac{1}{s}+\frac{1}{2\,s^2}+\frac{1}{6\,s^3}\right)\mu+ \tag{27'}$$

$$+\left(1+\frac{1}{s}+\frac{1}{2\,s^2}+\frac{1}{6\,s^3}\right)\frac{1}{\sqrt{s}}\,\mathrm{arc\,tg}\,(\mu\sqrt{s})$$

W zastosowaniach liczbowych wyrażenie to może być jeszcze uproszczone, gdy $\frac{1}{s}$ jest dostatecznie małe. Jeśli μ ma wartość, która znacznie przekracza 1, rozwinięcie funkcji e^{-u^2} jest powolnie zbieżne i wtedy lepiej obliczyć całkę (26) przy pomocy jednej z metod kwadratur przybliżonych, np. metody Simpsona.

Rozważmy przykład liczbowy; niech będzie

$$a = 80\ \mathrm{m};\quad b = c = 5\ \mathrm{m};\quad p = 5\ \mathrm{m};\quad q = 30\ \mathrm{m} \tag{28}$$

Według wzoru (5) i tablic funkcji $\Theta\,(u)$ otrzymamy dla prawdopodobieństwa, że pocisk wybuchnie w obszarze D_1, wartość

$$P_1 = \Theta\left(\frac{1}{16}\right).\,\Theta^2\,(1) = 0{,}0480 \tag{29}$$

Podstawiając wartości (28) do wzoru (24), otrzymamy następnie dla prawdopodobieństwa uszkodzenia samolotu przez pociski wybuchające w obszarze D_2 wyrażenie

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \Theta^2 (1) \int\limits_{\frac{1}{16}}^{\frac{3}{8}} \frac{e^{-u^2} du}{1 + 128 u^2} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \Theta \left(\frac{1}{16}\right) \Theta (1) \int\limits_{1}^{6} \frac{e^{-u^2} du}{1 + \frac{1}{2} u^2} +$$

$$+ \frac{8}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{16^2} \left| \Theta_1 \left(\frac{1}{16}\right) - \Theta_1 \left(\frac{3}{8}\right) \right| [\Theta_1 (1) - \Theta_1 (6)] \int\limits_{0}^{1} \frac{e^{-u^2} du}{1 + \frac{1}{2} u^2} + \quad (30)$$

$$+ \frac{4}{\sqrt{\pi}} [\Theta_1 (1) - \Theta_1 (6)]^2 \int\limits_{0}^{\frac{3}{8}} \frac{e^{-u^2} du}{1 + 128 u^2};$$

po wykonaniu rachunku otrzymamy stąd

$$P_2 = 0{,}0544 \qquad (30')$$

i widzimy, że to prawdopodobieństwo jest nawet większe od prawdopodobieństwa P_1. Suma wartości (29) i (30′) daje nam prawdopodobieństwo całkowite uszkodzenia samolotu

$$P = P_1 + P_2 = 0{,}1024 \qquad (31)$$

Wskutek szybkiego malenia funkcji e^{-u^2}, całka G a u s s a $\Theta (\mu)$ jak również całka

$$\int\limits_{0}^{\mu} \frac{e^{-u^2} du}{1 + su^2}$$

dążą szybko do swych granic, gdy $p \to \infty$ i już dla $\pi = 3$ różnią się od nich niewiele; mamy mianowicie $\Theta (3) = 0{,}99998$. Jeśli więc stosunki $\frac{q}{a}$ i $\frac{q}{b}$ są większe od 3, wartość P_2 różni się nieznacznie od wartości granicznej dla $\mu \to \infty$; według wyrażenia (24) ta granica prawdopodobieństwa P_2 jest następująca:

$$\lim_{q \to \infty} P_2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \Theta_2\left(\frac{p}{b}\right) \int\limits_{\frac{p}{a}}^{\infty} \frac{e^{-u^2}\,du}{1 + \frac{a^2}{2\,p^2}\,u^2} + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\,\Theta\left(\frac{p}{a}\right)\Theta\left(\frac{p}{b}\right) \int\limits_{\frac{p}{b}}^{\infty} \frac{e^{-u^2}\,du}{1 + \frac{b^2}{2\,p^2}\,u^2} +$$

$$+ \frac{8\,p^4}{\sqrt{\pi}\,a^2 b^2}\left[\Theta_1\left(\frac{p}{a}\right) - 1\right]\left[\Theta_1\left(\frac{p}{b}\right) - 1\right] \int\limits_{o}^{\frac{p}{b}} \frac{e^{-u^2}\,du}{1 + \frac{b^2}{2\,p^2}\,u^2} + \tag{32}$$

$$+ \frac{4\,p^4}{\sqrt{\pi}\,.\,b^4} \cdot \left[\Theta_1\left(\frac{p}{b}\right) - 1\right]^2 \int\limits_{o}^{\infty} \frac{e^{-u^2}\,du}{1 + \frac{a^2}{2\,p^2}\,u^2}$$

W zastosowaniach wartość, którą należy przyjąć dla krawędzi q, ze względu na zasięg działania odłamków pocisku, nie jest większa od odchylenia jednostkowego a i wobec tego różnicy między wartością (24) i jej granicą (32) nie można zaniedbać.

3. Wyznaczenie prawdopodobieństwa z uwzględnieniem ruchu samolotu.

Naszym celem będzie teraz wyznaczenie prawdopodobieństwa uszkodzenia samolotu, uwzględniając jego ruch. W obecnych rozważaniach wchodzić będzie w grę nie tylko punkt (x, y, z), lecz również i czas t, w którym wybuch pocisku nastąpi. Należy więc obecnie rozważyć rozrzut pocisków *w przestrzeni czterech zmiennych* (x, y, z, t). Dla tego rozrzutu, powodowanego błędami przypadkowymi, przyjmiemy prawo Gaussa o czterech zmiennych, to znaczy założymy, że prawdopodobieństwo, aby pocisk wybuchł w elemencie objętości dv (w punkcie x, y, z) w przedziale czasu $(t, t+dt)$ wyraża się wzorem

$$Ce^{\Phi(x, y, z, t)}\,.\,dv\,.\,dt. \tag{33}$$

gdzie C jest stałą, $\Phi(x, y, z, t)$ jest formą kwadratową *określoną ujemną* czterech współrzędnych względem układu osi, którego początek $x=0$, $y=0$, $z=0$, $t=0$, jest *środkiem rozrzutu w przestrzeni czterowymiarowej.*

Funkcję $\Phi(x, y, z, t)$ możemy wyrazić w postaci kanonicznej

$$\Phi(x, y, z, t) = -\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - \frac{t^2}{\tau^2} \tag{34}$$

obierając odpowiednio układ osi współrzędnych. Położenie takiego układu osi względem kierunku prędkości samolotu i pocisku należałoby określić doświadczalnie. Jeśli prędkość samolotu nie jest zbyt duża, założymy iż jedna z osi, np. oś Ox, ma kierunek zbliżony do kierunku ruchu pocisku. Parametry dodatnie a, b, c, τ nazwiemy podobnie odchyleniami jednostkowymi wzdłuż osi Ox, Oy, Oz, τ zaś — odchyleniem jednostkowym w czasie. Wartości tych czterech odchyleń zależą od dokładności przyrządów, które służą do określenia kierunku i chwili strzału.

Według wyrażeń (33) i (34), prawdopodobieństwo, że pocisk wybuchnie w obszarze D zmiennych (x, y, z) i w przedziale czasu (t_1, t_2), wyrazi się całką następującą:

$$C \int_{t_1}^{t_2} \left| \iiint_D e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - \frac{t^2}{\tau^2}} dx\, dy\, dz \right| dt. \tag{35}$$

Wyrażenie (35) winno równać się *jedności* dla całej przestrzeni i dla przedziału nieskończonego $(-\infty, +\infty)$ czasu:

$$C \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - \frac{t^2}{\tau^2}} dx\, dy\, dz\, dt = 1. \tag{36}$$

wynika stąd wartość stałej C:

$$C = \frac{1}{\pi^2 a b c \tau} \tag{37}$$

Założymy poniżej, że ruch samolotu jest prostoliniowy i jednostajny; założenie takie jest wystarczające w zastosowaniu ze względu na to, że funkcja Gaussa przybiera wartości znaczące tylko w pobliżu środka rozrzutu $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$, $t = 0$ i że krzywizna toru samolotu oraz zmiany jego prędkości są zwykle niewielkie.

Niech S będzie punktem stałym samolotu, który schodzi się ze środkiem rozrzutu $x = 0$; $y = 0$; $z = 0$; w chwili $t = 0$. Według naszego założenia torem punktu S będzie prosta, przechodząca przez początek układu O, a współrzędne punktu S samolotu w chwili t będą następujące:

$$x_S = v_x t; \quad y_S = v_y t; \quad z_S = v_z t \tag{38}$$

gdzie v_x, v_y, v_z są stałymi składowymi prędkości samolotu wzdłuż osi współrzędnych.

Weźmy pod uwagę sześcian D o środku S, zawierający samolot w swym wnętrzu; założymy, że krawędzie tego sześcianu mają długość $2p$ dostatecznie małą, aby wybuch pocisku w dowolnym punkcie tego sześcianu powodował uszkodzenie samolotu. Przypuśćmy, iż krawędzie tego sześcianu w ruchu są stale równoległe do osi współrzędnych.

Całkując wyrażenie (33) w obszarze (D) zmiennych (x, y, z) i w przedziale nieskończonym $(-\infty, +\infty)$ czasu t, otrzymamy prawdopodobieństwo P_1 uszkodzenia samolotu pociskami wybuchającymi w obszarze D w postaci następującej:

$$P_1 = \frac{1}{\pi^2 a b c \tau} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\iiint_D e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - \frac{t^2}{\tau^2}} dx\, dy\, dz \right] dt \tag{39}$$

Wprowadźmy teraz zamianę zmiennych

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + v_x t \\ y &= y' + v_y t \\ z &= z' + v_z t \end{aligned}\right\} \tag{40}$$

gdzie nowe zmienne (x', y', z') są współrzędnymi względem układu osi równoległych do x, y, z, którego początek schodzi się ze środkiem S sześcianu. Otrzymamy wtedy

$$P_1 = \frac{1}{\pi^2 a b c \tau} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-p}^{p}\int_{-p}^{p}\int_{-p}^{p} e^{-\frac{x'^2}{a^2} - \frac{y'^2}{b^2} - \frac{z'^2}{c^2} - \alpha t^2 - 2\left(\frac{v_x x'}{a^2} + \frac{v_y y'}{b^2} + \frac{v_z z'}{c^2}\right) t} \cdot \right.$$

$$\left. . dx' . dy' . dz' \right] dt \tag{41}$$

gdzie oznaczono

$$\alpha = \frac{1}{\tau^2} + \frac{v_x^2}{a^2} + \frac{v_y^2}{b^2} + \frac{v_z^2}{c^2} \tag{42}$$

Mamy jednak

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha t^2 - \beta t} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha\left(t+\frac{\beta}{2\alpha}\right)^2 + \frac{\beta^2}{4\alpha}} dt =$$

$$= e^{\frac{\beta^2}{4\alpha}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha u^2} du = e^{\frac{\beta^2}{4\alpha}} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \tag{43}$$

gdzie α jest stałą dodatnią, β zaś stałą rzeczywistą dowolną, możemy więc wyrazić prawdopodobieństwo (41) w postaci następującej całki potrójnej:

$$P_1 = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \int_{-p}^{+p}\int_{-p}^{+p}\int_{-p}^{+p} e^{-\frac{x'^2}{a^2} - \frac{y'^2}{b^2} - \frac{z'^2}{c^2} - \frac{1}{\alpha}\left(\frac{v_x x'}{a^2} + \frac{v_y y'}{b^2} + \frac{v_z z'}{c^2}\right)^2} dx'\, dy'\, dz' \tag{44}$$

Uprościmy teraz wyrażenie (44) zakładając, że odchylenia jednostkowe poprzeczne są równe $(b = c)$; możemy wtedy, bez zmniejszenia ogólności rozważań, wybrać osi Oy i Oz w taki sposób, żeby prędkość samolotu była równoległa do płaszczyzny Oxy, to znaczy żeby było $v_z = 0$ i otrzymamy wtedy dla prawdopodobieństwa (44) wyrażenie

$$P_1 = \frac{\Theta\left(\frac{p}{b}\right)}{\pi a b \tau \sqrt{\alpha}} \int_{-p}^{+p}\int_{-p}^{+p} e^{-\left(1-\frac{v_x^2}{\alpha a^2}\right)\frac{x'^2}{a^2} - \left(1-\frac{v_y^2}{\alpha b^2}\right)\frac{y'^2}{b^2}} \cdot e^{\frac{2 v_x v_y}{\alpha a^2 b^2} x' y'} dx'\, dy' \tag{45}$$

gdzie Θ jest całką Gaussa:

$$\Theta(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-t^2} dt .$$

Według wyrażenia (42) mamy teraz

$$\alpha = \frac{1}{\tau^2} + \frac{v_x^2}{a^2} + \frac{v_y^2}{b^2}, \tag{42'}$$

a więc funkcja podcałkowa (45) pozostaje ograniczona, jeśli jedna lub obie składowe v_x, v_y rosną nieskończenie. Wynika stąd, z uwagi jeszcze na wyraz $\sqrt{\alpha}$ występujący w mianowniku wyrażenia (45),

że prawdopodobieństwo P_1 dąży do zera, gdy jedna lub obie składowe v_x, v_y rosną nieskończenie.

Rachunek wyrażenia (45) można sprowadzić tylko do całki Gaussa, rozwijając na szereg czynnik

$$e^{\frac{2v_x v_y}{\alpha a^2 b^2} x' y'} = \sum_{n=o}^{\infty} \frac{1}{n!} \left(\frac{2 v_x v_y}{\alpha a^2 b^2} \right)^n x'^n y'^n; \quad (0! = 1)$$

otrzymamy wtedy

$$P_1 = \frac{\Theta\left(\frac{p}{b}\right)}{a b \tau \pi \sqrt{\alpha}} \sum_{n=o}^{\infty} \frac{1}{n!} \left(\frac{2v_x v_y}{\alpha a^2 b^2} \right)^n \int_{-p}^{+p} x'^n e^{-\left(1 - \frac{v_x^2}{\alpha a^2}\right) \frac{x'^2}{a^2}} dx' \, .$$
$$\cdot \int_{-p}^{+p} y'^n e^{-\left(1 - \frac{v_y^2}{\alpha b^2}\right) \frac{y'^2}{b^2}} dy' \tag{46}$$

Całki, które występują w tym szeregu, równają się zeru, gdy n jest nieparzyste, wyrażają się zaś przez całkę G a u s s a, gdy n jest parzyste; mamy mianowicie wzór redukcyjny

$$\int x^n e^{-kx^2} dx = -\frac{1}{2k} x^{n-1} e^{-kx^2} + \frac{n-2}{2k} \int x^{n-2} \cdot e^{-kx^2} dx \tag{47}$$

Zaznaczymy, że współczynniki, które występują w wykładnikach wyrażeń podcałkowych (46), są dodatnie; mamy mianowicie według wyrażenia (42′)

$$\left. \begin{aligned} 1 - \frac{v_x^2}{\alpha a^2} &= \frac{1 + \frac{v_y^2 \tau^2}{b^2}}{1 + \frac{v_x^2 \tau^2}{a^2} + \frac{v_y^2 \tau^2}{b^2}} \\ 1 - \frac{v_y^2}{\alpha b^2} &= \frac{1 + \frac{v_x^2 \tau^2}{a^2}}{1 + \frac{v_x^2 \tau^2}{a^2} + \frac{v_y^2 \tau^2}{b^2}} \end{aligned} \right| \tag{48}$$

Przyjmując w zastosowaniach, że prędkość samolotu jest rzędu 50 m/sek, parametry a, b mają wartości bliskie wartości (28) i p ma wartość bliską wartości b, widzimy, według (42), że wyraz

$$\frac{2\, v_x\, v_y}{\alpha\, a^2\, b^2}\, x'\, y'$$

jest mniejszy od $\frac{1}{50}$, co zapewnia szybką zbieżność szeregu (46).

Ograniczając się do wyrazów drugiego rzędu w rozwinięciu (46), co jest zupełnie wystarczające w zastosowaniach, otrzymamy wzór następujący:

$$P_1 = \frac{\Theta\left(\frac{p}{b}\right)}{a\, b\, \tau\, \pi \sqrt{\alpha}} \left[\int_{-p}^{+p} e^{-\left(1 - \frac{v_x^2}{\alpha a^2}\right)\frac{x'^2}{a^2}}\, dx' \,.\, \int_{-p}^{+p} e^{-\left(1 - \frac{v_y^2}{\alpha b^2}\right)\frac{y'^2}{b^2}}\, dy' + \right.$$

$$\left. + 2\left(\frac{v_x\, v_y}{\alpha\, a^2\, b^2}\right)^2 \int_{-p}^{+p} x'^2\, e^{-\left(1 - \frac{v_x^2}{\alpha a^2}\right)\frac{x'^2}{a^2}}\, dx' \,.\, \int_{-p}^{+p} y'^2\, e^{-\left(1 - \frac{v_y^2}{\alpha b^2}\right)\frac{y'^2}{b^2}}\, dy' \right] \tag{49}$$

Według wzoru redukcyjnego (47), mamy

$$\int_{-p}^{+p} x^2\, e^{-kx^2}\, dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2k\sqrt{k}}\, \overline{\Theta}\, (p\sqrt{k}) \tag{50}$$

gdzie oznaczono

$$\overline{\Theta}\, (u) = -\frac{2}{\sqrt{\pi}}\, u\, e^{-u^2} + \Theta\, (u) \tag{51}$$

A więc, podstawiając jeszcze

$$\alpha = \frac{1}{\tau^2} + \frac{v_x^2}{a^2} + \frac{v_y^2}{b^2}$$

otrzymamy, po wykonaniu rachunku, następujące wyrażenie prawdopodobieństwa P_1:

$$P_1 = \sqrt{\frac{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}{\left(1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}\right)\left(1+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}\right)}}\,.$$

$$.\,\Theta\left(\frac{p}{a}\right)\left[\Theta\left(\frac{p}{a}\sqrt{\frac{1+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}}\right).\right.$$

$$.\,\Theta\left(\frac{p}{b}\sqrt{\frac{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}}{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}}\right)+\frac{1}{2}\,\frac{\left(\frac{v_x\tau}{a}\right)^2\left(\frac{v_y\tau}{b}\right)^2}{\left(1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}\right)\left(1+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}\right)}\,.$$

$$.\,\overline{\Theta}\left(\frac{p}{a}\sqrt{\frac{1+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}}\right).$$

$$\left.\,.\,\overline{\Theta}\left(\frac{p}{b}\sqrt{\frac{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}}{1+\frac{v_x^2\tau^2}{a^2}+\frac{v_y^2\tau^2}{b^2}}}\right)\right] \qquad (52)$$

Widzimy stąd, że to prawdopodobieństwo zależy tylko od stosunków

$$\frac{v_x\tau}{a}\,;\quad \frac{v_y\tau}{b}\,;\quad \frac{p}{a}\,;\quad \frac{p}{b}\,.$$

Rozważmy przypadek szczególny: $v_x = 0$, to znaczy przypadek, gdy prędkość pocisku jest prostopadła do prędkości samolotu. W tym przypadku wzór (45) przybiera postać uproszczoną:

$$P_1 = \frac{\Theta\left(\frac{p}{b}\right)}{\pi\, a\, b\, \tau\sqrt{\alpha}}\int_{-p}^{+p} e^{-\frac{x'^2}{a^2}}\,dx'\,.\int_{-p}^{+p} e^{-\left(1-\frac{v_y^2}{\alpha b^2}\right)\frac{y'^2}{b^2}}\,dy'; \qquad (45')$$

Prawdopodobieństwo P_1 wyraża się teraz przez funkcję G a u s s a bez rozwinięcia na szereg; otrzymamy mianowicie wzór prosty

$$P_1 = \Theta\left(\frac{p}{a}\right)\Theta\left(\frac{p}{b}\right)\Theta\left(\frac{p}{\sqrt{b^2 + v_y^2\,\tau^2}}\right) \tag{53}$$

Ten wzór interesujący wskazuje przejrzyście, że prawdopodobieństwo P_1 *maleje*, gdy prędkość v_y samolotu *rośnie.* W przypadku $v_y = 0$, wzór (53) sprowadza się do wzoru znanego

$$P_1 = \Theta\left(\frac{p}{a}\right)\Theta\left(\frac{p}{b}\right)\Theta\left(\frac{p}{b}\right)$$

dla samolotu w spoczynku.

Rozważmy przykład liczbowy; niech będzie

$$a = 80 \text{ m}; \quad b = 5 \text{ m}; \quad p = 5 \text{ m}; \quad \tau = 1 \text{ sek} \tag{54}$$

otrzymamy wtedy, według wzoru (53)

$$P_1 = \Theta\left(\frac{1}{16}\right)\Theta(1)\,\Theta\left(\frac{5}{\sqrt{25 + v_y^2}}\right);$$

posługując się tablicą wartości funkcji G a u s s a Θ, otrzymamy stąd następujące wartości prawdopodobieństwa P_1 dla różnych wartości prędkości v_y:

$$\left.\begin{aligned} v_y &= 0 & P_1 &= 0{,}0480 \\ v_y &= 10 \text{ m/sek}; & P_1 &= 0{,}0271 \\ v_y &= 30 \text{ m/sek}; & P_1 &= 0{,}0102 \\ v_y &= 50 \text{ m/sek}; & P_1 &= 0{,}0064 \\ v_y &= 70 \text{ m/sek}; & P_1 &= 0{,}0045 \end{aligned}\right\} \tag{55}$$

Swierdzamy tu malenie wybitne prawdopodobieństwa ze wzrostem prędkości samolotu. Obecność wyrazu $v_y^2\,\tau^2$ we wzorze (53) wskazuje, iż to malenie może być osłabione przez zwiększenie odchylenia τ, które charakteryzuje przyrządy służące do regulowania kierunku i chwili strzału.

4. Wyznaczenie prawdopodobieństwa dla samolotu w ruchu z uwzględnieniem działania odłamków pocisku.

Wyznaczymy teraz prawdopodobieństwo uszkodzenia samolotu w ruchu, uwzględniając nie tylko działanie pocisków wybuchających

w sześcianie D_1, określonym powyżej, ale również działanie odłamków pocisków wybuchających w obszarze D_2 zewnętrznym względem obszaru D_1 i obejmującym ten obszar. Wybór obszaru D_2 jest dość dowolny i przypuśćmy, iż jest to obszar ograniczony powierzchnią sześcianu D_1 i powierzchnią sześcianu o tym samym środku S, którego krawędzie są równoległe do krawędzi sześcianu D_1. Niech $2q$ oznacza długość stałą krawędzi sześcianu zewnętrznego, którą obieramy zależnie od zasięgu działania odłamków pocisku.

Podobnie, jak w rozdziale 1-ym, przyjmiemy, że prawdopodobieństwo względne $f(A)$ uszkodzenia samolotu przez odłamki pocisku wybuchającego w punkcie $A(x, y, z)$ obszaru D_2 jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości punktu A od środka S, to znaczy

$$f(A) = \frac{k}{AS^2} \tag{56}$$

i przyjmujemy, jak poprzednio

$$k = p^2 \tag{57}$$

W rachunkach poprzednich, gdy zaniedbywano ruch samolotu, nie trzeba było uwzględniać faktu, iż odłamki pocisku wymagają pewnego czasu, aby przebyć drogę od punktu wybuchu pocisku do punktu trafienia samolotu. Obecnie, gdy uwzględniamy ruch samolotu, należy również uwzględnić fakt, iż rażenie samolotu odłamkami następuje w chwili nieco późniejszej niż wybuch pocisku. Aby uprościć rachunek przyjmiemy, że tory odłamków pocisku w obszarze D_2 są prostoliniowe i że prędkość odłamków w tym obszarze ma wartość stałą w. Założenie to jest usprawiedliwione w zupełności, ponieważ prędkość odłamków przekracza 500 m/sek, a zatem krzywizna toru i zmiany prędkości odłamku w obszarze D_2 są nieznaczące.

Niech r oznacza odległość $\overline{AS}$ punktu $A(x, y, z)$ obszaru D_2 od środka S sześcianu w chwili t.

Odłamek pocisku, który dosięga punktu S w chwili t, pochodzi od pocisku wybuchającego w punkcie dowolnym $A(x, y, z)$ obszaru D_2 w chwili $t - \frac{r}{w}$; otóż gęstość prawdopodobieństwa tego wybuchu wynosi

$$\frac{1}{\pi^2 a b c \tau} e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - \frac{\left(t - \frac{r}{w}\right)^2}{\tau^2}} \tag{58}$$

prawdopodobieństwo zaś względne, że odłamki pochodzące od tego wybuchu uszkodzą samolot, wynosi

$$f(A) = \frac{k}{r^2},$$

a więc prawdopodobieństwo P_2 uszkodzenia samolotu odłamkami pocisków wyrazi się całką następującą:

$$P_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{1}{\pi^2 a b c \tau} \iiint\limits_{D_2} e^{-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} - \frac{\left(t - \frac{r}{w}\right)^2}{\tau^2}} \cdot \frac{k}{r^2} dx\, dy\, dz \right] dt \tag{59}$$

Prawdopodobieństwo całkowite uszkodzenia samolotu będzie sumą

$$P = P_1 + P_2 \tag{60}$$

prawdopodobieństwa P_1 danego przez wzór (46) i prawdopodobieństwa P_2 danego przez wzór (59).

Wprowadźmy, jak przedtem, nowe zmienne x' y' z' przy pomocy wzorów

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + v_x t \\ y &= y' + v_y t \\ z &= z' + v_z t \end{aligned}\right\} \tag{61}$$

gdzie v_x, v_y, v_z są składowymi prędkości samolotu wzdłuż osi współrzędnych. Otrzymamy wtedy

$$P_2 = \frac{1}{\pi^2 a b c \tau} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\iiint\limits_{D_2} e^{-\frac{x'^2}{a^2} - \frac{y'^2}{b^2} - \frac{z'^2}{c^2} - \frac{r^2}{\tau^2 w^2} - t^2 \left(\frac{1}{\tau^2} + \frac{v_x^2}{a^2} + \frac{v_y^2}{b^2} + \frac{v_z^2}{c^2}\right)} \cdot e^{-2\left(\frac{v_x x'}{a^2} + \frac{v_y y'}{b^2} + \frac{v_z z'}{c^2} - \frac{r}{\tau^2 w}\right) t} \cdot \frac{k}{r^2} dx'\, dy'\, dz' \right] dt \tag{62}$$

Podstawiając $r^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2$ i stosując wzór (43) otrzymamy następnie

$$P_2 = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}{\pi^2 a b c \tau} \iiint\limits_{D_2} e^{-\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{\tau^2 w^2}\right) x'^2 - \left(\frac{1}{b^2}+\frac{1}{\tau^2 w^2}\right) y'^2 - \left(\frac{1}{c^2}+\frac{1}{\tau^2 w^2}\right) z'^2} \cdot e^{\frac{1}{\alpha}\left(\frac{v_x x'}{a^2}+\frac{v_y y'}{b^2}+\frac{v_z z'}{c^2}-\frac{r}{\tau^2 w}\right)} \cdot \frac{k}{r^2}\, dx'\, dz'\, dy'. \tag{63}$$

gdzie oznaczono

$$\alpha = \frac{1}{\tau^2} + \frac{v_x^2}{a^2} + \frac{v_y^2}{b^2} + \frac{v_z^2}{c^2} \tag{64}$$

Wzór (63) uprości się, jeśli założymy jak przedtem, iż $b = c$ i jeśli skierujemy osi Oy i Oz w ten sposób, żeby było $v_z = 0$; otrzymamy wtedy

$$P_2 = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}{a b^2 \tau \pi^2} \iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2} \frac{k}{r^2} \cdot e^{\frac{2}{\alpha}\left(\frac{v_x v_y}{a^2 b^2} x' y' - \frac{v_x}{a^2 \tau^2 w} x' r - \frac{v_y}{b^2 \tau^2 w} y' r\right)} dx'\, dy'\, dz' \tag{65}$$

gdzie oznaczono

$$\left.\begin{aligned} m_1^2 &= \frac{1}{a^2} + \frac{1}{\tau^2 w^2} - \frac{v_x^2}{a^4 \alpha} - \frac{1}{\tau^4 w^2 \alpha} \\ m_2^2 &= \frac{1}{b^2} + \frac{1}{\tau^2 w^2} - \frac{v_y^2}{b^4 \alpha} - \frac{1}{\tau^4 w^2 \alpha} \\ m_3^2 &= \frac{1}{b^2} + \frac{1}{\tau^2 w^2} - \frac{1}{\tau^4 w^2 \alpha} \end{aligned}\right\} \tag{66}$$

Wyrażenia (66), jak łatwo sprawdzić, mają wartości dodatnie.

Rachunek liczbowy całki (65) wykonamy w sposób analogiczny jak w rozdziałach poprzednich. Wpierw rozwiniemy na szereg jeden z czynników pod znakiem całki (65):

$$e^{\frac{2}{\alpha}\left(\frac{v_x v_y}{a^2 b^2} x' y' - \frac{v_x}{a^2 \tau^2 w} x' r - \frac{v_y}{b^2 \tau^2 w} y' r\right)} = \tag{67}$$
$$= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^n}{n!\, \alpha^n} \left(\frac{v_x v_y}{a^2 b^2} x' y' - \frac{v_x}{a^2 \tau^2 w} x' r - \frac{v_y}{b^2 \tau^2 w} y' r\right)^n$$

i widzimy, podstawiając rozwinięcie (67) do całki (65), że całki wyrazów, zawierających potęgi nieparzyste zmiennych x', y', r, równają się zeru. A zatem prawdopodobieństwo (65) będzie sumą szeregu, którego pewne wyrazy będą miały postać

$$I = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}{a\, b^2 \tau \pi^2} \iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2} \cdot \tag{68}$$
$$\cdot \frac{k\, (x'^2 y'^2)^n}{r^2}\, dx'\, dy'\, dz'$$

inne zaś wyrazy, zawierające potęgi parzyste zmiennej r, wyrażą się przez całkę Gaussa

Wyrazy o postaci (68) obliczymy powtarzając postępowanie, które stosowaliśmy w rozdziale 2 przy obliczeniu całki (3).

Rozważmy przypadek szczególny: $v_x = 0$, to znaczy gdy prędkość samolotu jest prostopadła do prędkości pocisku. W tym przypadku wzór (65) przybierze postać

$$P_2 = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} a\, b \sqrt{b^2 + v_y^2 \tau^2}} \iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2} \cdot \tag{69}$$
$$\cdot \frac{k}{r^2} \cdot e^{-\frac{2 v_y}{(b^2 + v_y^2 \tau^2)\, w} y' r}\, dx'\, dy'\, dz'$$

gdzie mamy teraz

$$\left.\begin{aligned} m_1^2 &= \frac{1}{a^2} + \frac{v_y^2}{w^2 (b^2 + v_y^2 \tau^2)} \\ m_2^2 &= \frac{w^2 + v_y^2}{w^2 (b^2 + v_y^2 \tau^2)} \\ m_3^2 &= \frac{1}{b^2} + \frac{v_y^2}{w^2 (b^2 + v_y^2 \tau^2)} \end{aligned}\right\} \tag{70}$$

Aby obliczyć całkę (69), rozwińmy na szereg czynnik podcałkowy

$$e^{-\frac{2v_y}{(b^2+v_y^2\tau^2)w}y'r} = 1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n!}\left(\frac{2v_y}{(b^2+v_y^2\tau^2)w}\right)^n y'^n r^n$$

Zważywszy, że całki wyrazów, zawierających potęgi nieparzyste zmiennej y', znikną, otrzymamy prawdopodobieństwo P_2 w postaci sumy

$$P_2 = \frac{1}{\pi^{\frac{3}{2}} a\, b \sqrt{b^2+v_y^2\tau^2}} \iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2} \cdot$$

$$\cdot \frac{k}{r^2}\, dx'\, dy'\, dz' + \frac{2k\, v_y^2}{\pi^{\frac{3}{2}} ab\, (b^2+v_y^2\tau^2)^{\frac{5}{2}} w^2} \iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2} \cdot \tag{71}$$

$$\cdot\, y'^2\, dx'\, dy'\, dz' + \ldots .$$

Pierwszy wyraz tej sumy obliczymy w sposób analogiczny jak całkę (11), wszystkie zaś wyrazy następne sprowadzą się do całki Gaussa. W zastosowaniach, z powodu dużej wartości prędkości w, szereg (71) jest szybko zbieżny i już dwa wyrazy dają przybliżenie wystarczające.

Powtarzając to samo rozumowanie jak dla całki (11) (z tą różnicą, że obecnie $m_2 \neq m_3$, wskutek czego należy obliczyć całki podwójne dla trzech prostokątów R_1, R_2, R_3 wskazanych na rysunku) otrzymamy pierwszy wyraz I_1 sumy (71) w postaci następującego wyrażenia przybliżonego:

$$I_1 = \frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}} a\, b \sqrt{b^2+v_y^2\tau^2}} \int_p^q \frac{e^{-m_1^2 x'^2}\, dx'}{2p^2+x'^2} \cdot \int_{-p}^{+p} e^{-m_2^2 y'^2}\, dy' \,.$$

$$\cdot \int_{-p}^{+p} e^{-m_3^2 z'^2}\, dz' + \frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}} a\, b \sqrt{b^2+v_y^2\tau^2}} \,.$$

$$\cdot \int_o^p \left| 4 \int_o^p \int_p^q e^{-m_1^2 x'^2 - m_1^3 y'^2 - m_3^2 z'^2} \frac{dy\, dz}{2p^2+y^2} \right| dx + \frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}} a\, b \sqrt{b^2+v_y^2\tau^2}} \,.$$

$$\cdot\int_p^q\left[4\int_o^p\int_p^q e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2}\cdot\frac{dy\,dz}{x^2\,y^2\left(\frac{2}{p^2}+\frac{z^2}{p^4}\right)}\right]dx + \tag{72}$$

$$+\frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}}a\,b\sqrt{b^2+v_y^2\,\tau^2}}\int_o^p\left[4\int_p^q\int_o^p e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2}\cdot\right.$$

$$\left.\frac{dy\,dz}{2\,p^2+z^2}\right]dx+\frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}}a\,b\sqrt{b^2+v_y^2\,\tau^2}}\int_p^q\left[4\int_p^q\int_o^p e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2}\right.$$

$$\left.\cdot\frac{dy\,dz}{x^2\,z^2\left(\frac{2}{p^2}+\frac{y^2}{p^4}\right)}\right]dx+\frac{2k}{\pi^{\frac{3}{2}}a\,b\sqrt{b^2+v_y^2\,\tau^2}}\cdot$$

$$\cdot\int_o^q\left[4\int_p^q\int_o^q e^{-m_1^2x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2}\cdot\frac{dy\,dz}{y^2\,z^2\left(\frac{x^2}{p^4}+\frac{2}{p^2}\right)}\right]dx.$$

Stąd wynika

$$I_1=\frac{k}{\sqrt{\pi}\,.\,ab\sqrt{b^2+v_y^2\,\tau^2}\,.\,m_1\,m_2\,m_3p^2}$$

$$\left[\Theta\,(m_2\,p)\,\Theta\,(m_3\,p)\int_{pm_1}^{qm_1}\frac{e^{-u^2}\,du}{1+\frac{u^2}{2p^2\,m_1^2}}+\right.$$

$$+\Theta\,(m_1\,p)\,\Theta\,(m_3\,p)\int_{pm_2}^{qm_2}\frac{e^{-u^2}\,du}{1+\frac{u^2}{2p^2\,m_2^2}}+$$

$$\left.+\Theta\,(m_1\,p)\,\Theta\,(m_2\,p)\int_{qm_3}^{pm_3}\frac{e^{-u^2}\,du}{1+\frac{u^2}{2p^2\,m_3^2}}\right]+ \tag{73}$$

$$+\frac{4kp^2}{\sqrt{\pi}\,ab\sqrt{b^2+v_y^2\tau^2}}\left\{\frac{m_1\,m_2}{m_3}\left[\Theta_1\,(pm_1)-\Theta_1\,(qm_1)\right]\left[\Theta_1\,(pm_2)-\right.\right.$$

$$- \Theta_1 (qm_2)] \int\limits_o^{pm_3} \frac{e^{-u^2}\, du}{1 + \frac{u^2}{2p^2 m_3^2}} + \frac{m_1 m_3}{m_2} [\Theta_1 (pm_1) - \Theta_1 (qm_1)] [\Theta_1 (pm_3) -$$

$$- \Theta_1 (qm_3)] \int\limits_o^{pm_2} \frac{e^{-u^2}\, du}{1 + \frac{u^2}{2p^2 m_2^2}} + \frac{m_2 m_3}{m_1} [\Theta_1 (pm_2) - \Theta_1 (qm_2)] [\Theta_1 (pm_3) -$$

$$- \Theta_1 (qm_3)] \int\limits_o^{qm_1} \frac{e^{-u^2}\, du}{1 + \frac{u^2}{2p^2 m_1^2}} \Bigg\}$$

gdzie Θ jest całką Gaussa i gdzie oznaczono

$$\Theta_1 (u) = \frac{1}{u\sqrt{\pi}} e^{-u^2} + \Theta (u)$$

jak przedtem.

Rozważmy teraz drugi wyraz rozwinięcia (71):

$$I_2 = \frac{2k\, v_y^2}{\pi^{\frac{3}{2}} ab\, (b^2 + v_y^2 \tau^2)^{\frac{5}{2}}\, w^2} \iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2} \, . \tag{74}$$

$$. \, dx'\, dy' dz'$$

Całka ta wyraża się przez całkę Gaussa Θ; rozkładając mianowicie obszar D_2 na obszar D'_2, określony nierównościami

$$p < |x'| < q; \; |y'| < q; \; |z'| < q \tag{75}$$

i obszar dopełniający D_2'', otrzymamy

$$\iiint\limits_{D_2} e^{-m_1^2 x'^2 - m_2^2 y'^2 - m_3^2 z'^2}\, y'^2\, dx'\, dy'\, dz' = 2 \int\limits_p^q e^{-m_1^2 x'^2}\, dx' \, .$$

$$. \int\limits_{-q}^{+q} e^{-m_2^2 y'^2}\, y'^2\, dy' \, . \int\limits_{-q}^{+q} e^{-m_3^2 z'^2}\, dz' + 2 \int\limits_{-p}^{+p} e^{-m_1^2 x'^2}\, dx' \, .$$

$$\cdot \int_{-q}^{+q} e^{-m_2^2 y'^2} y'^2\, dy' \cdot \int_{p}^{q} e^{-m_3^2 z'^2} dz' + 2 \int_{-p}^{+p} e^{-m_1^2 x'^2} dx' \cdot \qquad (76)$$

$$\cdot \int_{p}^{q} e^{-m_2^2 y'^2} y'^2\, dy' \cdot \int_{-p}^{+p} e^{-m_3^2 z'^2} dz'$$

skąd wynika

$$I_2 = \frac{k v_y^2}{ab\,(b^2 + v_y^2 \tau^2)\, w^2 \,.\, m_1\, m_2^3\, m_3} \Big\{ [\Theta(qm_1) -$$

$$- \Theta(pm_1)]\, \bar{\Theta}(qm_2)\, \Theta(qm_3) + \Theta(pm_1)\, [\bar{\Theta}(qm_2) - \bar{\Theta}(pm_2)]\, \Theta(pm_3) +$$

$$+ \Theta(pm_1) \,.\, \bar{\Theta}(pm_2)\, [\bar{\Theta}(qm_3) - \bar{\Theta}(pm_3)] \Big\} \qquad (77)$$

gdzie oznaczono

$$\bar{\Theta}(u) = -\frac{2}{\sqrt{\pi}}\, u e^{-u^2} + \Theta(u)$$

Rozważmy przykład liczbowy poprzedni:

$$a = 80 \text{ m}; \quad b = 5 \text{ m}; \quad p = 5 \text{ m}; \quad q = 30 \text{ m}; \quad \tau = 1 \text{ sek}; \quad k = p^2 \qquad (78)$$

Poza tym założymy, iż prędkość samolotu ma wartość

$$v_y = 50 \text{ m/sek}$$

a prędkość odłamków pocisku — wartość

$$w = 500 \text{ m/sek}$$

Podstawiając powyższe wartości liczbowe do wzorów (73) i (77) otrzymamy, po wykonaniu dość długich rachunków, wartość

$$I_1 = 0{,}0105$$

oraz wartość nieznaczącą

$$I = 0{,}0000025$$

skąd wynika

$$P_2 = I_1 + I_2 = 0{,}0105$$

Widzimy, że otrzymane prawdopodobieństwo jest większe od prawdopobieństwa (55)

$$P_1 = 0{,}0064$$

odpowiadającego tej samej prędkości $v_y = 50$ m sek. Suma wartości znalezionych $P_1 + P_2$ jest prawdopodobieństwem całkowitym uszkodzenia samolotu w ruchu z prędkością $v_y = 50$ m sek:

$$P = P_1 + P_2 = 0{,}017$$

Ciekawe jest porównanie tej wartości z wartością (31) $P = 0{,}102$ znalezioną w tych samych warunkach dla samolotu w spoczynku.

621.4:531.552

Inż. TADEUSZ OLPIŃSKI

PRZYCZYNEK DO TEORII NAPĘDU RAKIETOWEGO [1])

Wstęp

Porównywając podstawowe prawo napędu rakietowego:

$$P \, . \, t = m \, . \, c$$

ze wzorem na energię kinetyczną:

$$E = \frac{mc^2}{2}$$

nasunęło mi się następujące spostrzeżenie:

Gdybyśmy chcieli uzyskać pewien stały popęd:

$$P \, . \, t = k,$$

szybkość wypływu gazów musielibyśmy zastosować taką, aby był spełniony wzór:

$$c = \frac{Pt}{m} = \frac{k}{m}, \qquad \text{A}$$

a energia udzielona gazom wynosiłaby:

$$E = \frac{m \frac{k^2}{m^2}}{2} = \frac{k^2}{2\,m} \qquad \text{B}$$

Z tych wzorów (A i B) widzimy, że jeżelibyśmy zwiększyli masę odrzucaną dwukrotnie, to szybkość tej masy, przy zachowaniu warunku uzyskania jednakowego popędu, musielibyśmy dwa razy zmniejszyć (wynika to ze wzoru A). Ilość energii zużytej w tym wypadku byłaby dwa razy mniejsza (wynika ze wzoru B), napęd odbywałby się więc z dwa razy większą sprawnością.

---

[1]) Według referatu wygłoszonego w Tow. Wojskowo-Techn. dnia 4 II 1937.

Na skutek tego spostrzeżenia wykonałem rozważania, *w jakim stopniu wzrost ciężaru masy napędowej wpływa na zwiększenie sprawności mechanicznej silnika rakietowego,*

W rozważaniach swoich zatrzymałem się jedynie przy rozpatrywaniu ruchu przyśpieszonego poziomego i pionowego ku górze, bez uwzględnienia oporów ośrodka. Uproszczenie zagadnienia przez nieuwzględnienie oporów ośrodka pozwoliło na łatwiejsze wyciągnięcie ogólnych wniosków, które choć co do wartości liczbowych ulegną w przypadku rzeczywistym zmianie, co do swej treści głównej pozostaną w mocy.

Określenie sprawności silnika rakietowego.

Sprawnością silnika rakietowego będę nazywać, zgodnie z ogólnie przyjętą definicją sprawności silników, stosunek energii użytecznej otrzymanej z silnika w pewnym okresie czasu do energii włożonej w silnik w tymże okresie czasu. Gdy rozważany okres pracy silnika będziemy zwężać do zera, możemy mówić o sprawności silnika w danej chwili; gdy ten okres rozszerzamy, mamy do czynienia ze sprawnością średnią.

Gdybyśmy w silniku rakietowym chcieli rozważać sprawność w każdym momencie ruchu silnika, okazałoby się, że jest ona zawsze inna, zależna od szybkości ruchu rakiety. Na początku ruchu, gdy szybkość jest równa zeru, sprawność równałaby się zeru. W miarę wzrostu prędkości sprawność wzrastałaby i w momencie, gdy prędkość rakiety równałaby się prędkości wypływu gazów, sprawność osiągnęłaby swoje maksimum, (sprawność mechaniczna $\eta_m = 1$). Przy dalszym wzroście szybkości sprawność zaczęłaby maleć, zdążając asymptotycznie do zera.

Ale nie o tę sprawność chwilową mi chodzi. Sprawność chwilowa nie charakteryzuje wartości silnika rakietowego. Właściwą ocenę wartości silnika możemy mieć dopiero ze średniej sprawności.

Przy rozpatrywaniu średniej sprawności silnika rakietowego musimy przyjąć pewien czas, w którym tę sprawność chcemy badać. Najlogiczniej narzuca się nam, aby za okres badania przyjąć cały czas palenia się masy pędnej, czyli cały czas działania silnika (T).

Sprawność średnią silnika rakietowego będę oznaczać symbolem η.

W ogólnej postaci wzór na sprawność silnika rakietowego ma postać:

$$\eta = \frac{AL}{Q} \tag{1}$$

gdzie: A — współczynnik $\frac{1}{427}$

L — praca mechaniczna wykonana w czasie spalenia się całego ładunku miotającego.

Q — całkowita energia cieplna zawarta w ładunku miotającym.

Praca użyteczna w wypadku ruchu poziomego bez oporów.

Popęd, jaki udzielają rakiecie gazy w każdej chwili ruchu, wyraża się wzorem:

$$P \,.\, dt = c\, dm$$

Stąd siła napędowa wynosi:

$$P = c\, \frac{dm}{dt}$$

Ponieważ ilość gazów wyrzucanych w jednostce czasu przyjmujemy za stałą, będziemy mieć:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{G}{gT} = \text{const.}$$

Wzór na siłę napędową będzie miał postać następującą:

$$P = G\, \frac{c}{gT} \tag{2}$$

Tutaj: G — ciężar całego ładunku miotającego

T — czas spalenia się całego ładunku

g — przyśpieszenie ziemskie.

Ta siła napędowa udziela przyśpieszenia całej masie rakiety, tj. samej rakiecie oraz tej części ładunku, która w danym momencie w rakiecie się znajduje. Użyteczna jest jednak tylko ta część siły, która napędza samą rakietę [1]).

---

[1]) Ta część siły napędowej, która zużywa się na przyśpieszenie masy pędnej, znajdującej się w danym momencie w rakiecie, nie jest stracona. Umożliwia ona mianowicie napędzanie rakiety ze stałą siłą przy coraz to wyższych szybkościach, w wyniku czego energia, jaką udzielają gazy rakiecie w miarę zwiększania się jej szybkości, rośnie i gdy szybkość rakiety przekroczy połowę szybkości wylotowej gazów, energia jaką rakieta otrzymuje od gazów, przewyższa energię, jaką one otrzymały przy wylocie z dyszy (tj. z energiii chemicznej. Nadwyżkę energii otrzymuje się właśnie z energii kinetycznej, nagromadzonej w masie pędnej.

Wielkość tej siły można określić ze wzoru:

$$P' = P \frac{G_p}{G_p + G'}$$

Tutaj G_p — ciężar samej rakiety
G' — ciężar materiału pędnego zawartego w rakiecie w danym momencie.

Jeżeli czas ruchu rakiety od chwili ruszenia do danej badanej chwili wynosi t, to:

$$G' = G - G \cdot \frac{t}{T}$$

Podstawiając tę wartość na G' do wzoru na P' otrzymamy:

$$P' = P \frac{G_p}{G_p + G - G \frac{t}{T}} \tag{3}$$

Podstawiając do tego wzoru wartość na P ze wzoru 2 oraz dla uproszczenia:

$$\frac{G}{(G_p + G)T} = a \tag{4}$$

po przekształceniach otrzymamy wzór na P' w postaci:

$$P' = G_p \frac{c}{g} \frac{a}{1 - at} \tag{5}$$

Praca użyteczna, wykonana przez siłę P' w elemencie czasu dt, wynosi:

$$dL = P' v_t \, dt \tag{6}$$

tutaj: v_t — prędkość rakiety w chwili t.

Prędkość rakiety w chwili t w wypadku ruchu poziomego bez oporów wyraża się wzorem:

$$v_t = c \ln \frac{1}{1 - at} \qquad (7)\,[1]$$

Gdy do wzoru 6 podstawimy wartość na P' ze wzoru 5 i wartość na v_t ze wzoru 7, otrzymamy wzór na elementarną pracę użyteczną w formie:

$$dL = G_p \frac{c^2}{g} \frac{a}{1 - at} \ln \frac{1}{1 - at} dt$$

Podstawiając: $\ln \frac{1}{1 - at} = y$, otrzymamy:

$$dL = G_p \frac{c^2}{g} y \, dy$$

Po scałkowaniu w granicach od 0 do T i uproszczeniu otrzymamy:

$$L = \frac{G_p c^2}{2g} \ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p}\right) \tag{8}$$

Wzór na pracę użyteczną można było otrzymać również prostszym sposobem, a mianowicie wychodząc z założenia, że cała użyteczna energia, z powodu tego iż ruch odbywa się poziomo, została nagromadzona w postaci energii kinetycznej rakiety. Otrzymamy wtedy wzór:

$$L = \frac{G_p}{g} \frac{v^2}{2}$$

Ponieważ szybkość rakiety po spaleniu się ładunku wyraża się wzorem:

$$v = c \ln \left(1 + \frac{G}{G_p}\right) \qquad (7a)\ [2]$$

---

[1]) [2]) Wyprowadzenie wzorów 7 i 7-a: Rakieta posuwa się w kierunku poziomym bez oporów na skutek siły odrzutu gazów. Szybkość początkowa jest równa 0. Ładunek spala się jednostajnie, tak że ilość gazów wydzielana w jednostce czasu jest stała i szybkość wypływu gazów względem rakiety jest również stała.

Z prawa o pędzie i popędzie wiemy, że: $P \cdot dt = c \cdot dm$.

Stąd: $P = c \frac{dm}{dt}$. Tutaj: P — siła napędowa, c — szybkość wylotowa gazów, dm — element masy, dt — element czasu. Ponieważ ładunek spala się jednostajnie, $\frac{dm}{dt} = \text{const.} = \frac{M}{T} = \frac{G}{gT}$. Tutaj: T — całkowity czas palenia się ładunku napędowego rakiety, G — ciężar ładunku napędowego, g — przyśpieszenie ziemskie. Wzór na siłę napędową można więc napisać w formie: $P = c \frac{G}{gT}$ I

Ta siła działa na rakietę, przyśpieszając jej ruch wg wzoru: $\frac{dv}{dt} = \frac{P}{M_t}$ II

Tutaj: M_t — całkowita masa pocisku w danym momencie.

$$M_t = \frac{G_p}{g} + \frac{G}{g}\left(1 - \frac{t}{T}\right) \qquad \text{III}$$

Otrzymamy: $L = \frac{G_p c^2}{2g} \ ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p}\right)$

Wzór zgodny z wyżej podanym wzorem 8.

Pierwszy sposób wyprowadzania wzoru 8 został tu podany, aby przygotować czytelnika do wyprowadzania nieco trudniejszego wzoru 10.

Praca użyteczna w wypadku ruchu pionowego ku górze bez oporów.

Wyżej wyprowadzone wzory 5 i 6 mają i tutaj zastosowanie, nie będę więc powtarzać ich wyprowadzenia.

Tutaj: G_p ciężar rakiety bez ładunku napędowego, t — czas od chwili zapalenia się ładunku do danej chwili.

Podstawiając do wzoru II wartość na P ze wzoru I i wartość na M_t ze wzoru III otrzymamy po przekształceniu:

$$\frac{dv}{dt} = c \frac{G}{T} \frac{1}{G_p + G\left(1 - \frac{t}{T}\right)}$$

Przekształcając dalej otrzymamy:

$$dv = c \frac{dt}{\frac{G_p + G}{G} T - t} .$$

Całkując powyższy wzór w granicach od 0 do τ [podstawiając $\frac{G_p + G}{G} T - t = u$] otrzymamy wzór na szybkość rakiety w chwili τ w postaci.

$$v = c \ ln \frac{\frac{G_p + G}{G} T}{\frac{G_p + G}{G} T - \tau} \qquad \text{IV}$$

Podstawiając:

$$\frac{G}{(G_p + G) T} = a$$

oraz zamiast τ pisząc z powrotem t, otrzymamy wzór 7:

$$v = c \ l n \frac{1}{1 - at} \qquad (7)$$

Podstawiając do wzoru IV zamiast $t = T$ otrzymamy po uproszczeniu wzór na szybkość końcową rakiety w postaci:

$$v = c \ ln \left(1 + \frac{G}{G_p}\right) \qquad (7\text{ a})$$

Prędkość rakiety w chwili t w wypadku ruchu pionowego ku górze bez oporów wyraża się wzorem:

$$v_t = c \ln \frac{1}{1 - at} - gt \qquad (9)\text{ [1]}$$

Gdy do wzoru 6 na elementarną pracę użyteczną podstawimy wartość na P' ze wzoru 5 i wartość v_t ze wzoru 9, otrzymany wzór na elementarną pracę użyteczną w postaci:

$$dL = G_p \frac{c}{g} \frac{a}{1 - at} \left(c \ln \frac{1}{1 - at} - gt \right) dt$$

a po pomnożeniu:

$$dL = \frac{G_p c^2}{g} \frac{a}{1 - at} \ln \frac{1}{1 - at} dt - G_p c \frac{at}{1 - at} at$$

---

[1]) Wyprowadzenie wzoru 9 i 9 a. Rakieta posuwa się na skutek siły odrzutu gazów w kierunku pionowym ku górze bez oporów. Pozostałe czynniki jak przy wyprowadzeniu wzoru 7.

Siła napędowa wyraża się, jak wyżej, wzorem:

$$P = c \frac{G}{gT} \qquad \text{I}$$

Siła ta jest zmniejszona o ciężar rakiety w danym momencie, który wynosi:

$$G_t = G_p + G \left(1 - \frac{t}{T} \right)$$

Siła więc, która udziela prześpieszenia rakiecie wyraża się wzorem:

$$P'' = c \frac{G}{gT} - \left[G_p + G \left(1 - \frac{t}{T} \right) \right] \qquad \text{V}$$

Siła ta przyśpiesza masę rakiety wg wzoru:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P''}{M_t}$$

Podstawiając do tego wzoru wartość na P'' ze wzoru V i wartość M_t ze wzoru III, otrzymamy:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{c \frac{G}{gT} - G_p - G\left(1 - \frac{t}{T}\right)}{\frac{G_p}{g} + \frac{G}{g}\left(1 - \frac{t}{T}\right)}$$

a po uproszczeniu i przekształceniu:

$$dv = \frac{c\,G - (G_p + G)\,gT + G\,gt}{(G_p + G)\,T - Gt} dt$$

Mamy tutaj przy całkowaniu dwie całki: pierwszą rozwiązaliśmy wyżej, a mianowicie:

$$L_1 = \frac{G_p c^2}{2g} \ ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p}\right)$$

Drugą całkę rozwiązujemy przez podstawienie:

$$\frac{1}{1 - at} = u$$

Otrzymujemy wtedy dwie całki:

$$L_2 = \frac{cG_p}{a} \int_0^T \frac{du}{u} - \frac{cG_p}{a} \int_0^T \frac{du}{u^2}$$

Po scałkowaniu i uproszczeniu otrzymamy:

$$L_2 = c\, G_p\, T \left[\left(\frac{G_p}{G} + 1\right) ln\left(1 + \frac{G}{G_p}\right) - 1\right]$$

Całkując powyższy wzór w granicach od 0 do τ, otrzymamy:

$$v = \left(c - \frac{Gp + G}{G} gT\right) \int_0^\tau \frac{dt}{\frac{Gp + G}{G} T - t} + g \int_0^\tau \frac{t\, dt}{\frac{Gp + G}{G} T - t} \qquad \text{VI}$$

Po scałkowaniu i uproszczeniu otrzymamy:

$$v = c\, ln \frac{\frac{Gp + G}{G} T}{\frac{Gp + G}{G} T - \tau} - g\tau$$

a po dalszym uproszczeniu i po podstawieniu wg wzoru 4 oraz po zamianie τ na t, otrzymamy wzór 9:

$$v = c\, ln \frac{1}{1 - at} - gt \qquad (9)$$

Podstawiając do wzoru 9 zamiast $t = T$ oraz wartość na a ze wzoru 4, otrzymamy po uproszczeniu wzór na szybkość końcową rakiety w postaci:

$$v = c\, ln \left(1 - \frac{G}{Gp}\right) - g\, T \qquad (9\text{ a})$$

Całkowita praca użyteczna wynosi:

$$L = L_1 - L_2$$

a po podstawieniu wartości na L_1 i L_2:

$$L = \frac{G_p c^2}{2g} ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p}\right) - c\, G_p\, T \left[\left(\frac{G_p}{G} + 1\right) ln \left(1 + \frac{G}{G_p}\right) - 1\right] \tag{10}$$

Energia cieplna zawarta w ładunku miotającym.

Jeżeli wartość opałowa masy pędnej wynosi $W \frac{\text{Kal}}{\text{kg}}$ i cały ciężar masy G kg, to energia cieplna, zawarta w masie pędnej, wynosi:

$$Q = W \,.\, G \text{ Kal} \tag{11}$$

Sprawność silnika rakietowego w wypadku ruchu poziomego przyspieszonego bez oporów.

Sprawność silnika rakietowego wyraża się wyżej podanym wzorem 1.

$$\eta = \frac{Al}{Q} \tag{1}$$

Podstawiając do tego wzoru wzory 8 i 11, otrzymamy:

$$\eta = \frac{A\, G_p\, c^2\, ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p}\right)}{2g\, W\, G} \tag{12}$$

Z termodynamiki wiemy, że:

$$c = \sqrt{\frac{2g\, W\, \eta_t}{A}} \tag{13}$$

Po podstawieniu wzoru 13 do wzoru 12 i po uproszczeniu, otrzymamy:

$$\eta = \eta_i \frac{G_p}{G} ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p}\right) \tag{14}$$ [1]

---

[1]) Analogiczny wzór podaje inż. dr Eugen Sänger w książce pt. „Raketen - Flugtechnik (wydanie z r. 1933 str. 46). Przedstawiony tam wzór ma postać:

W tym wzorze oznaczenia mają następujące znaczenie:

η_{i} — sprawność termodynamiczna silnika (indykowana)
G_p — ciężar rakiety po odliczeniu ciężaru masy pędnej
G — ciężar masy pędnej.

Sprawność silnika rakietowego w wypadku ruchu przyspieszonego pionowego ku górze bez oporów.

Wychodząc ze wzoru ogólnego na sprawność:

$$\eta = \frac{AL}{Q} \tag{1}$$

wykonywamy podstawienia wg wzorów 10, 11 i 13.

Po uproszczeniu otrzymujemy wzór na sprawność w postaci:

$$\eta = \eta_{i} \frac{G_p}{G} \left\{ ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p} \right) - \frac{2gT}{c} \left[\left(\frac{G_p}{G} + 1 \right) ln \left(1 + \frac{G}{G_p} \right) - 1 \right] \right\} \tag{15}$$

W tym wzorze η_{i}, G_p i G mają te same znaczenie, co we wzorze 14. Pozostałe symbole oznaczają:

g — przyspieszenie ziemskie
T — czas, w którym cały ładunek masy pędnej zostaje spalony
c — szybkość wypływu gazów.

$$\eta_m = \frac{\left(\frac{v_1}{c}\right)^2}{e^{\left(\frac{v_1}{c}\right)} - 1}$$

Różni się on od wzoru 14 jedynie tym, że inny stosunek obrano za zmienną niezależną.

Gdybyśmy do wzoru podanego w książce inż. dr E. Sängera podstawili, zgodnie ze wzorem 7a:

$$\frac{v_1}{c} = ln \left(1 - \frac{G}{G_p}\right) \tag{7a}$$

i przyjęli:

$$\eta = \eta_{i} \cdot \eta_m$$

otrzymalibyśmy po uproszczeniu wzór 14.

Dyskusja wzoru na sprawność mechaniczną silnika rakietowego w wypadku ruchu poziomego przyspieszonego bez oporów.

Wzór na sprawność.

Wyżej został wyprowadzony wzór na sprawność w wypadku ruchu poziomego przyspieszonego bez oporów. Wzór ten ma postać:

$$\eta = \eta_t \frac{G_p}{G} ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p} \right) \tag{14}$$

Wzór 14 można przedstawić w następującej formie uproszczonej:

$$\eta = \eta_t \eta_m$$

przy czym

η_t — sprawność termodynamiczna (indykowana)

η_m — sprawność mechaniczna.

Ponieważ w niniejszym referacie zajmuję się wyłącznie sprawnością mechaniczną, ze wzoru ogólnego na sprawność wydzielam do dyskusji wzór na sprawność mechaniczną w postaci:

$$\eta_m = \frac{G_p}{G} ln^2 \left(1 + \frac{G}{G_p} \right) \tag{16}$$

Ogólna dyskusja wzoru 16.

Przyglądając się wzorowi 16 widzimy, że sprawność mechaniczna w tym wypadku ruchu zależy jedynie od stosunku $\frac{G}{G_p}$. Przyjąwszy wartość $\frac{G}{G_p}$ za zmienną niezależną zbadamy, jak zmieniać się będzie sprawność mechaniczna w zależności od zmian $\frac{G}{G_p} = x$.

Posługując się znanymi metodami matematycznymi otrzymamy z dyskusji następujące wartości:

Tabela 1.

$\frac{G}{G_p} = x$	0	↗	3,92	↗	∞
$\frac{d\eta_m}{dx}$	1	$0 >$	0	< 0	0
η_m	0	↗	0,648	↘	0

Z danych, umieszczonych w tabeli 1 wynikają następujące wnioski:

1. sprawność mechaniczna w tym wypadku ruchu zawsze, tj. dla każdej wartości $\frac{G}{G_p}$ zawartej między 0 a ∞ jest większa od 0; [1])

2. sprawność mechaniczna w wypadku, gdy ciężar ładunku w stosunku do ciężaru rakiety $\frac{G}{G_p}$ jest bardzo mały, dąży do zera, przy czym krzywa sprawności w punkcie $x = 0$ jest styczna do prostej, której tangens kąta nadchylenia względem osi X wynosi 1

$$\left(\frac{d\eta_m}{dx}\right)_{x \longrightarrow 0} = 1$$

3. sprawność mechaniczna posiada maksimum, które zachodzi przy ściśle określonym stosunku $\frac{G}{G_p}$, a mianowicie gdy $\frac{G}{G_p} = 3{,}92$;

---

[1]) Przekonamy się niżej, że w wypadku ruchu ku górze wypada czasem ze wzorów $\eta_m < 0$. Wyrażenie to, na pozór nielogiczne, ma jednak sens fizyczny. Znaczy ono, że gdybyśmy nawet poprawili nieco warunki pracy silnika, to mimo to sprawność nie polepszyłaby się. Wypadek $\eta_m = 0$ oznacza równowagę. Najdrobniejsza nawet poprawa w pracy silnika spowoduje, że η_m wzrośnie, czyli będzie $\eta_m > 0$.

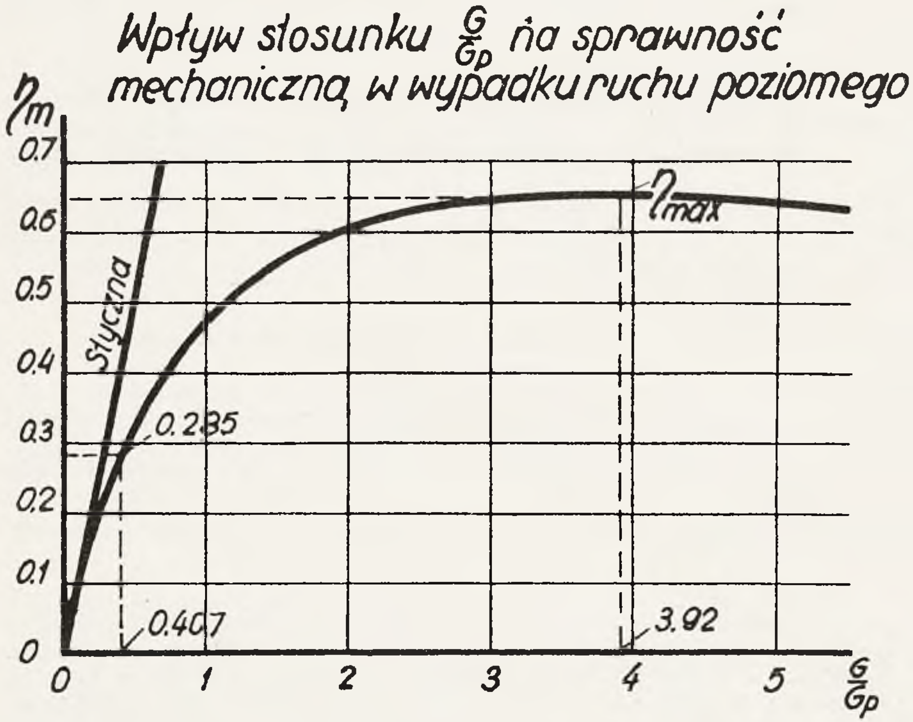
4. maksimum sprawności mechanicznej w tym wypadku ruchu wynosi 0,648; [1])

5. gdy stosunek $\frac{G}{G_p}$ wzrasta ponad 3,92 sprawność mechaniczna maleje;

6. gdy stosunek $\frac{G}{G_p}$ rośnie nieskończenie, sprawność asymptotycznie dąży do 0.

Wykreślenie krzywej sprawności.

Rysunek 1 przedstawia sprawność η_m w funkcji stosunku $\frac{G}{G_p}$ w zakresie od $\frac{G}{G_p} = 0$ do $\frac{G}{G_p} = 5$. Wykres ten w szerszych granicach będzie powtórzony niżej.



Rys. 1.

[1]) W książce inż. dr E. Sängera, wyżej wymienionej, jest podane $\eta_{max} = 0,647$. Ścisła wartość η_{max} wynosi 0,647610, a wartość $\frac{G}{G_p}$, przy którym zachodzi η_{max}, wynosi 3,92155.

Wartości stosunku $\frac{G}{G_p}$ najczęściej są małe. Jedna np. z rakiet sygnalizacyjnych ma stosunek $\frac{G}{G_p} = 0{,}407$, sprawność więc mechaniczna tej rakiety wynosi jedynie 0,286, jest więc blisko dwa razy mniejsza niż ta, jaką można osiągnąć.

Ciężar właściwy mieszanki.

Do zagadnienia sprawności mechanicznej w tym wypadku ruchu można podejść jeszcze z innego punktu widzenia. Jeżelibyśmy np. za punkt wyjścia wzięli konkretny projekt rakiety, to moglibyśmy zapytać się, jakim warunkom powinna odpowiadać mieszanka, aby sprawność mechaniczna silnika rakietowego była jak największa.

Do tych rozważań weźmiemy rakietę wyżej wymienioną, w której $\frac{G}{G_p} = 0{,}407$ i która jest napędzana prochem czarnym o wartości opałowej $W = 680 \frac{\text{Kal}}{\text{kg}}$.

Ciężar właściwy sprasowanego prochu w tym wypadku wynosi $\gamma = 1{,}63$ kg/dm^3. Jeżeli objętość przeznaczona na masę pędną wynosi V, to całkowita energia cieplna, zawarta w masie pędnej tej rakiety, wynosi:

$$Q = V \,.\, \gamma \,.\, W = 1108 \; V \text{ Kal.}$$

Ponieważ w danej rakiecie objętość przeznaczona na masę jest stała, w rozważaniach niniejszych będę brał pod uwagę energię zawartą w 1 dm^3.

W danym przypadku będzie:

$$E = \gamma \,.\, W = 1108 \text{ Kal/dm}^3$$

Spróbujmy teraz zmieniać ciężar właściwy masy pędnej (zmieniać rodzaje mas, a nie siłę zaprasowania) i obserwować, jaka musiałaby być wartość opałowa oraz energia zawarta w 1 dm^3 masy, aby rakieta po spaleniu się ładunku miała *tę samą szybkość*, co przy prochu czarnym. Przyjąć tutaj oczywiście trzeba, że sprawność termodynamiczna zmianom nie ulega.

Podstawiając różne wielkości na γ i obliczając odpowiednie $\frac{G}{G_p}$, η_m, W oraz E, otrzymamy wartości, podane w tabeli 2. Z tabeli tej widzimy, że maksimum sprawności mechanicznej przy da-

nym modelu rakiety możnaby osiągnąć dopiero wtedy, gdyby ciężar właściwy masy pędnej wynosił 15,68 kg/dm³. W tym wypadku wartość opałowa mieszanki byłaby bardzo małą, bo wynosiłaby jedynie 31,2 Kal/kg, wobec 680 Kal/kg przy prochu czarnym i całkowita energia zużyta do napędu rakiety wynosiłaby 489 . *V* Kal., wobec 1108 . *V* Kal przy prochu czarnym.

Tabela 2.

Wpływ zmiany ciężaru właściwego mieszanki pędnej na wartość opałową i zużycie energii przy stałej sprawności termodynamicznej i stałej konstrukcji rakiety.

$$(\eta_t = \text{const.} \quad \frac{G_p}{V} = \text{const.})$$

$\frac{G}{G_p}$	0	0,1	0,25	0,407	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	3,92	5
η_w	0	0,093	0,199	0,285	0,328	0,416	0,47	0,56	0,605	0,626	0,64	0,648	0,64
γ	0	0,4	1	1,63	2	3	4	6	8	10	12	15,68	20
W	∞	8470	1590	680	483	254	168,5	94	65,5	50,6	41,1	31,2	24,7
$\gamma . W = E$	∞	3390	1590	1108	965	761	674	565	523	506	494	489	494

Ciężar właściwy 15,68 jest jednak nierealny. Ale nie potrzeba iść aż tak daleko. Już przy mieszance o $\gamma = 3$ kg/dm³ sprawność wynosi 0,416 zamiast 0,2855, wartość opałowa wynosiłaby jedynie 254 Kal/kg, a całkowita energia zużyta do napędu 761 . *V* Kal.

Na podstawie wyżej podanego rozważania można wyprowadzić wniosek, że dla dużej siły napędowej i dużej wydajności napędu rakietowego w rakietach przeważnie spotykanych należy dążyć do uzyskania mieszanek pędnych o jak największym ciężarze właściwym.[1])

Wpływ dodatku balastu.

Wzrost ciężaru właściwego masy pędnej ma tak doniosłe znaczenie, że nawet zastąpienie części materiału pędnego balastem

---

[1]) Sprawa ta ma szczególnie duże znaczenie przy rozruchu rakietowym samolotów, gdyż tam stosunek $\frac{G}{G_p}$ jest mały.

o dużym ciężarze właściwym może w wielu wypadkach zwiększyć siłę napędową silnika rakietowego oraz zwiększyć jego sprawność.[1]) Balast ten musiałby oczywiście być wyrzucony wraz z mieszanką.

Jako wniosek praktyczny można jedynie powiedzieć, że w pewnych wypadkach lepszy skutek napędu możnaby osiągnąć np. przez strzelanie ciężkimi pociskami (np. ołowianymi) do tyłu z jakiegoś prymitywnego karabinu maszynowego, aniżeli przez normalny napęd rakietowy. Może to być szczególnie przydatne przy rozruchu.

Mówiąc o dążeniu do mas pędnych o dużym ciężarze właściwym nie myślę wcale, co jeszcze raz podkreślam, o stosowaniu dużych gęstości zaprasowania mieszanek znanych. Ta droga nie da oczywiście pożądanych rezultatów. Myśląc o ciężkich masach mam na myśli poszukiwanie mas opartych na połączeniach chemicznych z metalami o dużym ciężarze właściwym lub o mieszaniu mas lekkich o dużej wartości opałowej z masami małokalorycznymi, ale za to ciężkimi. Tą drogą znalezione masy czy mieszanki, choć będą miały mniejszą wartość opałową, będą mogły być dla danych warunków pracy bardziej ekonomiczne i dać silniejszy napęd rakiecie.

---

[1]) Dla przekonania się o wypływie dodatku balastu przeliczyłem teoretyczny wypadek dodatku balastu, któryby nie reagował chemicznie z masą, nie zabierał od niej ciepła, nie zmniejszał stopnia wykorzystania energii w dyszy, a dał się unieść gazom powiększając ich ciężar właściwy.

Zastąpienie części masy takim balastem powoduje z jednej strony wzrost pracy użytecznej dawanej przez silnik rakietowy na skutek wzrostu η_m, z drugiej jednak strony powoduje ubytek pracy użytecznej wskutek dania mniejszej ilości właściwej masy pędnej. Obliczenia jednak wykazują, że przy mniejszych $\frac{G}{G_p}$ i przy odpowiednio dużym ciężarze właściwym balastu (np. ołów) wzrost użytecznej pracy silnika, spowodowany wzrostem η_m, jest wyższy niż zmniejszenie się jej na skutek dania mniejszej ilości właściwej masy pędnej. Istnieje pewne optimum ilości dodatku balastu; zależy ono od stosunku objętości, przeznaczonej w rakiecie na masę pędną do ciężaru rakiety $\left(\frac{V}{G_p}\right)$, oraz od stosunku ciężaru właściwego balastu do ciężaru właściwego istotnej masy pędnej $\left(\frac{\gamma_b}{\gamma}\right)$.

Istnieje jednak taka wartość $\frac{V}{G_p}$, ponad którą dodatek choćby najcięższego balastu nie da żadnych korzyści. Wartość ta jest duża i zależy od ciężaru właściwego masy pędnej.

Szczegółowego rozważania tutaj nie przytaczam, gdyż zaprowadziłoby ono nas do zbyt długich dociekań.

Optymalny ciężar właściwy mieszanki.

Na podstawie podanych wyżej rozważań można wyprowadzać jeszcze jeden ważny wniosek:

Nie ma jednej masy pędnej, która byłaby równie dobra dla wielu rakiet. W zależności od stosunku objętości, przeznaczonej w rakiecie na masę pędną, do ciężaru samej rakiety (tj. tego, co jest napędzane z wyłączeniem samej masy napędzającej) masa pędna powinna mieć różny ciężar właściwy i to tym wyższy, im stosunek $\frac{V}{G_p}$ jest niższy. Ponieważ η_{max} przypada na wartość $\frac{G}{G_p} = 3{,}92$, a $G = \gamma \cdot V$, możemy napisać:

$$\gamma_{opt} = 3{,}92 \frac{G_p}{V}.$$

Wzór ten podaje nam ciężar właściwy masy, przy której rakieta pracuje z najwyższą sprawnością mechaniczną, tj. 0,648.

Porównanie wartości mas pędnych.

Ciężar właściwy masy pędnej, o którym jest mowa, jest ściśle związany z η_m i dla uzyskania maksymalnej sprawności mechanicznej musielibyśmy dla danej rakiety dobrać masę o odpowiednim ciężarze właściwym. Ale nam nie raz nie chodzi o η_m, tylko raczej o siłę napędową. Wróćmy tu do tabeli 2. Mamy w niej szereg mas, które choć dają w rakiecie bardzo różne sprawności, to jednak wszystkie udzielają rakiecie jednakowego napędu i z tego punktu widzenia są równorzędne. Tabelka ta więc może nam ułatwić porównanie różnych mas ze stanowiska skutku napędowego (przy założeniu oczywiście jednakowej sprawności termodynamicznej). Gdybyśmy np. mieli masę, której ciężar właściwy wynosiłby jedynie 0,4 kg/dm^3, ale za to wartość opałowa byłaby większa od 8470 Kal/kg to powiedzielibyśmy, że choć ta masa daje w badanej rakiecie sprawność mechaniczną wynoszącą jedynie 0,0935, to jednak udziela rakiecie silniejszego napędu niż proch czarny. Zaznaczyć tu jednak muszę, że w takim przypadku dodanie balastu choćby w postaci domieszania do tej masy jakiejś innej masy małokalorycznej, ale o dużym ciężarze właściwym lub nawet jakiegoś obojętnego ciała sproszkowanego o dużym ciężarze właściwym dałoby, jak wykazują obliczenia, [1]) zwiększenie siły napędowej, nie mówiąc już o sprawności mechanicznej, która wzrosłaby jeszcze silniej.

---

[1]) Sprawę tę poruszyłem wyżej nieco szczegółowiej.

Dyskusja wzoru na sprawność mechaniczną silnika rakietowego w wypadku ruchu przyśpieszonego pionowego ku górze bez oporów.

Wzór na sprawność.

Analogicznie do wzoru, przedstawionego w dyskusji wyżej podanej, można napisać wzór na sprawność mechaniczną w wypadku ruchu przyśpieszonego pionowego ku górze w postaci:

$$\eta_m = \frac{G_p}{G} ln^2\left(1 + \frac{G}{G_p}\right) - 2g\frac{T}{c}\frac{G_p}{G}\left[\left(\frac{G_p}{G} + 1\right) ln\left(1 + \frac{G}{G_p}\right) - 1\right] \tag{17}$$

Wzór 17, jak widzimy, ma w sobie poza stosunkiem $\frac{G}{G_p}$ jeszcze jeden czynnik zmienny, a mianowicie $\frac{T}{c}$. Sprawność więc mechaniczna w tym wypadku ruchu jest funkcją dwóch zmiennych: zmiennej $x = \frac{G}{G_p}$ i zmiennej $y = \frac{T}{c}$. (Przypominam oznaczenia: G — ciężar masy pędnej, G_p — ciężar rakiety z wyłączeniem masy pędnej, T — czas całospalenia się masy pędnej, c — szybkość wypływu spalin z dyszy).

Dyskusja drugiej części wzoru.

Ponieważ pierwsza część wzoru jest już nam znana, przedyskutujemy funkcję:

$$\Phi\left(\frac{G}{G_p}\right) = 2\frac{G_p}{G}\left[\left(\frac{G_p}{G} + 1\right) ln\left(1 + \frac{G}{G_p}\right) - 1\right] \tag{18}$$

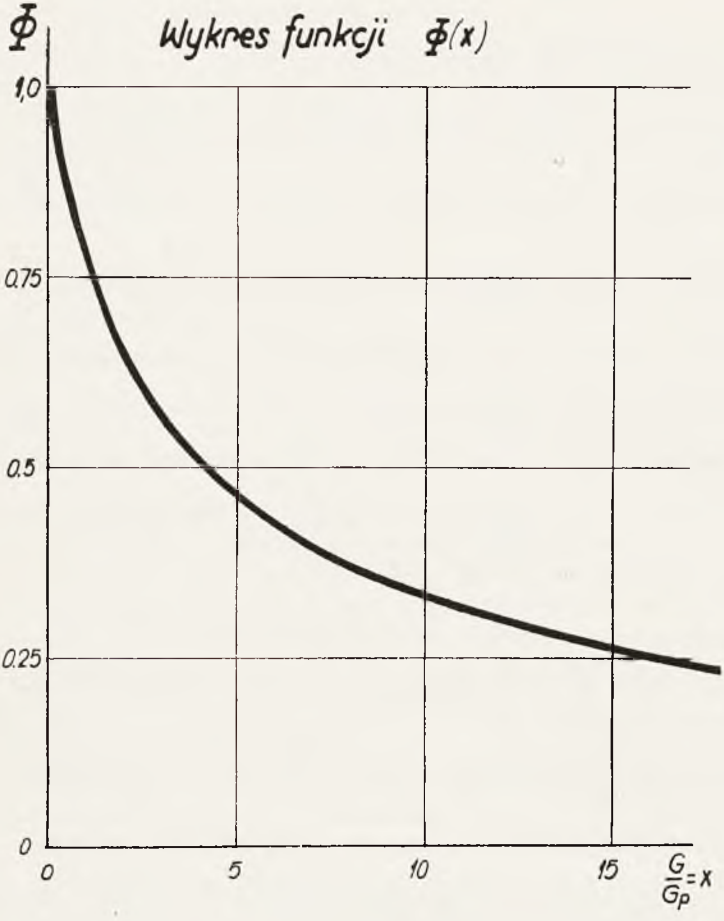
i potem wyniki dyskusji połączymy uwzględniając zmienną $\frac{T}{c}$.

Przeprowadziwszy dyskusję funkcji 18 za pomocą znanych metod matematycznych, otrzymamy następujące wyniki:

Tabela 3.

$x = \frac{G}{G_p}$	0	↗	∞
$\frac{d\Phi}{dx}$	$-\infty$	< 0	0
Φ	1	↘	0

Dla lepszej ilustracji funkcja Φ *(x)* została przedstawiona wykreślnie (rys. 2).



Rys. 2.

Zastrzeżenia co do stosowalności wzoru 17.

Przed przystąpieniem do dyskusji całości wzoru $\eta_m(x, y)$ należy jeszcze zaznaczyć, że wyżej podany wzór 17 jest ważny tylko w wypadku, gdy:

$$g \frac{T}{c} \leqslant \frac{G}{G_p + G} \tag{19}$$

lub inaczej:

$$gy \leqslant \frac{x}{1 + x} \tag{20}$$

Warunek ten wypływa wprost z założenia prawidłowego przebiegu napędu rakietowego. Gazy mianowicie muszą od samego początku udzielać rakiecie takiej siły napędowej, aby ona mogła ruszyć z miejsca. Siła ta musi więc być większa, a co najmniej równa ciężarowi pocisku wraz z masą napędową.

$$P \geqslant G_p + G$$

Siła napędowa P wyraża się wzorem:

$$P = c\frac{dm}{dt}$$

dm — element masy wyrzucany w czasie dt.

Ponieważ: $\frac{dn}{dt} = \text{const} = \frac{G}{gT}$, więc:

$$P = \frac{cG}{gT}$$

Podstawiając tę wartość na P do nierówności: $P \geqslant G_p + G$ otrzymamy:

$$\frac{cG}{gT} \geqslant G_p + G$$

a po przekształceniu:

$$\frac{gT}{c} \leqslant \frac{G}{G_p + G} \qquad (19)$$

Gdyby w jakiejś konstrukcji było:

$$\frac{gT}{c} > \frac{G}{G_p + G}$$

nastąpiłoby naprzód częściowe wypalenie masy bez ruszenia rakiety. Palenie bez ruchu trwałoby do momentu, gdy:

$$\frac{gT'}{c} = \frac{G'}{G_p + G'}$$

T' — czas palenia się pozostałej nie spalonej części masy

G' — ciężar pozostałej nie spalonej części masy.

Gdyby nastąpił wypadek:

$$\frac{gT}{c} \geqslant \frac{G}{G_p}, \tag{21}$$

rakieta nigdy nie ruszyłaby z miejsca, gdyż nierówność 21 oznacza, że siła napędowa jest mniejsza od ciężaru samej rakiety. W tym wypadku na η_m wypadnie wartość ujemna, o której niżej będzie mowa.

Graniczne wartości na x.

Ze wzorów 20 i 21 można wyprowadzić wzory na x graniczne, tj. takie x, przy którym kończy się stosowalność wzoru na η_m, oraz na x_0, tj. takie x, przy którym $\eta_m = 0$.

Wzór na x_{gran} wyprowadzamy w sposób następujący:

$$g\frac{T}{c} = \frac{\frac{G}{G_p}}{1 + \frac{G}{G_p}}\ ; \ gy = \frac{x_{gran}}{1 + x_{gran}} \tag{22}$$

Po przekształceniu otrzymamy żądany wzór (23):

$$x_{gran} = \frac{gy}{1 - gy} \tag{23}$$

Aby wzory na η_m były stosowalne (miały sens fizyczny), x musi być większe od x_{gran} lub jemu równe:

$$\frac{G}{G_p} \geqslant x_{gran}$$

Wzór na x_0 wyprowadzamy, wychodząc ze wzoru 21:

$$\frac{gT}{c} \geqslant \frac{G}{G_p}; \ gy \geqslant x$$

Stąd mamy:

$$x_0 = g \cdot y \tag{24}$$

Aby rakieta w ogóle mogła ruszyć z miejsca, musi być spełniona nierówność:

$$x > x_0$$

Graniczna wartość na y.

Wzór na x_{gran} można odwrócić. Można znaleźć z niego dla dowolnego x takie $y = \frac{T}{c}$, przy którym wzór na η_m przestanie być aktualny. Wzór ten otrzymujemy wprost ze wzoru 20:

$$y_{gran} = \frac{1}{g} \quad \frac{x}{1 + x} \tag{25}$$

Graniczne wartości na η_m.

Podstawiając powyższą wartość na y do wzoru 17, otrzymamy wzór na sprawność graniczną. Wzór ten daje nam szereg wartości na η_m, przy których kończy się stosowalność wzoru 17. Wzór na η_{gran} po przekształceniu ma postać:

$$\eta_{gran} = \frac{1}{x} \left\{ \left[ln\,(1 + x) - 1 \right]^2 - \frac{1 - x}{1 + x} \right\} \tag{26}$$

Z dyskusji tej funkcji otrzymamy następujące wartości:

Tabela 4.

x	0	↗	9,25	↗	∞
$\frac{d\eta_{gr}}{dx}$	0	$0 >$	0	< 0	0
η_{gran}	0	↗	0,278	↘	0

Maksymalna wartość na y.

Nasuwa się jeszcze pytanie, czy są jakieś teoretyczne ograniczenia dla wartości y.

W tym celu przeanalizujemy wzór 20.

$$g \cdot y \leqslant \frac{x}{1 + x} \tag{20}$$

Największa więc wartość na y, jaka jest dopuszczalna, to jest y_{gran}. Ale y_{gran} jest jeszcze zależne od x. Poszukamy więc największej wartości y_{gran}, gdyż ona jest jednocześnie największą dopuszczalną wartością na y.

$$y_{gran} = \frac{1}{g} \frac{x}{1+x} \tag{25}$$

Maksimum y_{gran} nastąpi, gdy:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{g} \frac{1}{1+x^2} = 0$$

tj. gdy $\left(\frac{1}{1+x}\right)^2 = 0$, a to nastąpi gdy $x \to \infty$.

W tym wypadku:

$$y_{gran} = \frac{1}{g} \frac{x}{1+x} = \frac{1}{g}\left(\frac{1}{\frac{1}{x}+1}\right)_{x\to\infty} \to \frac{1}{g}$$

Najwyższa więc wartość, jaką może osiągnąć y, wynosi:

$$y_{max} = \frac{1}{g};$$

W wypadku, gdy y przekroczy tę wartość, nie ma takiego x, przy którym wzór η_m (17) byłby aktualny — rakieta ruszy dopiero po wypaleniu się części ładunku lub, jeżeli zajdzie wypadek wyrażony wzorem 21, wcale nie ruszy.

Wykreślenie krzywych sprawności.

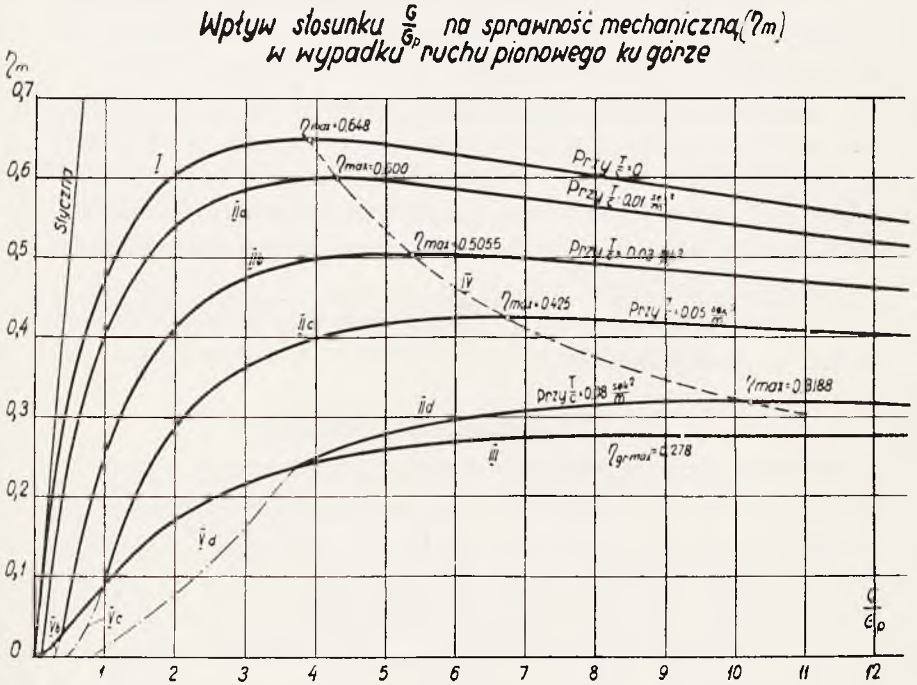
Wyprowadzone w dyskusji wartości zostały przedstawione na Rys. 3.

Na rysunku tym:

Krzywa I przedstawia przebieg sprawności w zależności od stosunku $\frac{G}{G_p} = x$ w wypadku $\frac{T}{c} = 0$. Przebieg tej krzywej jest zgodny z przebiegiem krzywej w wypadku ruchu poziomego.

Krzywe II (tj. IIa, IIb itd.) przedstawiają przebieg sprawności, gdy stosunek $\frac{T}{c}$ jest różny od 0. I tak krzywa IIa przedstawia przebieg

sprawności, gdy $\frac{T}{c} = 0{,}01 \frac{\text{sek}^2}{\text{m}}$; krzywa IIb, gdy $\frac{T}{c} = 0{,}03 \frac{\text{sek}^2}{\text{m}}$, krzywa IIc, gdy $\frac{T}{c} = 0{,}05 \frac{\text{sek}^2}{\text{m}}$ i krzywa IId, gdy $\frac{T}{c} = 0{,}08 \frac{\text{sek}^2}{\text{m}}$



Rys. 3.

Krzywe II mają szereg wspólnych charakterystycznych cech:

1. Wszystkie krzywe w pierwszej swej części wznoszą się, przechodzą przez pewne maksimum, a potem opadają łagodnie dążąc asymptotycznie do 0.

2. Początek swój biorą nie od początku układu, lecz z krzywej III, która jest zbiorem punktów, od których krzywe II (czyli wzór 17 na sprawność) mają sens fizyczny.

3. W miarę, im krzywa II odpowiada $\frac{T}{c}$, maksimum staje się niższe i przesunięte ku wyższym $\frac{G}{G_p}$.

4. Maksima krzywych II tworzą krzywą IV, która początek swój bierze od punktu η_{max} krzywej I.

Krzywa III, jak powiedziano wyżej, jest zbiorem punktów od których η_m (wzór 17) zaczyna mieć sens fizyczny. Kształt tej krzywej jest zbliżony do kształtu krzywej I z tą różnicą, że na początku (tj. gdy $x \longrightarrow 0$) jest styczna do osi x.

Krzywa IV, jak powiedziano wyżej, jest zbiorem maksimum krzywych II. Krzywa ta ze wzrostem x stale opada. Przebiegu tej krzywej sposobami matematycznymi nie analizowałem.

Krzywe V charakteryzują sprawność w zakresie, w którym krzywe II nie mają sensu fizycznego. Zakres ten, jak wyżej zaznaczyłem, charakteryzuje się tym, że rakieta nie rusza od razu, a dopiero po wypaleniu się części ładunku napędowego. Ze względu na to, że pod względem praktycznym zakres ten nie ma znaczenia, nie omawiam go bliżej.

Wyniki dyskusji wzoru 17 można również przedstawić ogólnie w formie tabeli (tabela 5).

Tabela 5.

$\frac{G}{G_p} = x$	0	↗	$\frac{gT}{c}$	↗	$\frac{g\frac{T}{c}}{1-g\frac{T}{c}}$	↗	Pewna wartość zależna od $\frac{T}{c} = y$	↗	∞
$\frac{d\eta_m}{dx}$	—	—	—	—	>0	>0	0	<0	
η_m	Zakres nie stosowalności wzoru 17								
	<0	<0	0	↗	>0	↗	η_{max}	↘	0

Wnioski.

Wnioski, jakie można wyciągnąć z dyskusji wzoru na sprawność w tym wypadku ruchu, są zgodne z wnioskami podanymi poprzednio (przy dyskusji wzoru 16). Tak jak tam, a nawet jeszcze w większym stopniu (ze względu na to, że maksymum η_m wypada przy większych $\frac{G}{G_p}$) dla zwiększenia η_m trzeba, w przeważającej części wypadków, zwiększyć ciężar masy pędnej, a dla zmniej-

szenia wymiarów rakiety — dążyć do mieszanek o jak największym ciężarze właściwym. Tak jak tam, stosowanie balastu jako dodatku do masy lub strzelanie ciężkimi pociskami może dać przy małych objętościach przeznaczonych na masę pędną, dobre wyniki; tak jak tam, nie ma jednej pary pędnej, jednakowo dobrej dla każdej rakiety. Dla każdej konstrukcji, zależnie od stosunku ciężaru rakiety do objętości przeznaczonej na masę pędną oraz od dającego uzyskać się stosunku $\frac{T}{c}$, dla osiągnięcia maksymalnej sprawności powinniśmy stosować masę pędną o innym ciężarze właściwym [1]).

W odróżnieniu od wypadku poprzedniego należy tu podkreślić, że sprawność mechaniczna w tym wypadku ruchu jest funkcją dwóch zmiennych: $\frac{G}{G_p}$ i $\frac{T}{c}$. Ze wzrostem $\frac{T}{c}$ sprawność maleje, należy więc dążyć, aby ten stosunek był jak najmniejszy.

Wypadek ruchu pionowego w dół.

Tego wypadku ruchu nie będę szczegółowo rozpatrywać, gdyż nie obrałem go za przedmiot referatu. Opierając się na wynikach poprzednich rozważań można powiedzieć, że w wypadku ruchu pionowego ku dołowi największą sprawność mechaniczną uzyska się, gdy czas wypływu gazów będzie bardzo mały i gdy moment, w którym zacznie działać napęd rakietowy, nastąpi pod koniec ruchu, tj. jak najbliżej ziemi, byleby ukończył się przed zetknięciem się rakiety z ziemią. Gdyby tymi rakietami były bomby lotnicze, to ze względu na chęć uniknięcia zbytniego ciężaru przewozowego, należałoby mniej zwracać uwagę na sprawność mechaniczną, a więcej na siłę napędową i mały ciężar rakiety. Nie należy jednak ciężaru masy pędnej zbytnio obniżać, gdyż masa pędna prócz energii che-

---

[1]) Optymalny ciężar właściwy masy pędnej można w tym wypadku obliczyć ze wzoru:

$$\gamma_{opt} = \left(\frac{G}{G_p}\right)_{\eta_{max}} \cdot \frac{G}{V}$$

tutaj: $\left(\frac{G}{G_p}\right)_{\eta_{max}}$ — stosunek $\frac{G}{G_p}$, kiedy przy danym osiągalnym $\frac{T}{c}$ rakieta uzyskuje η_{max},

G_p — ciężar rakiety (z wyłączeniem masy pędnej)

V — objętość, przeznaczona w rakiecie na masę pędną.

micznej posiada również energię potencjonalną ($E_p = G \, . \, H$; H — wysokość spadku), która przy dużych wysokościach spadku gra stosunkowo znaczną rolę.

Uwagi końcowe.

W referacie niniejszym postawiłem sobie za zadanie, jak to podałem na wstępie, wykazać wpływ ciężaru masy pędnej na sprawność silnika rakietowego. W wywodach dotychczasowych oparłem się na założeniu, że szybkość wypływu gazów podczas całego czasu działania silnika jest stała. Takie jednak założenie nie zgadza się z dążeniem do otrzymania maksymalnej sprawności mechanicznej. Dla uzyskania maksymalnej sprawności należałoby zastosować zmienną szybkość gazów przy wylocie z dyszy i to zmienną w ściśle określony sposób.

Niżej podam przebieg zmiany szybkości wylotowej gazów, w wypadku ruchu poziomego bez oporów, przy którym uzyskujemy maksymalną sprawność mechaniczną.

Określenie przebiegu zmiany szybkości wypływu gazów.

Jako rezultat napędu rakietowego chcemy, aby rakieta o ciężarze G_p osiągnęła szybkość v. Jeśli ma to być spełnione, musimy udzielić jej popędu o wartości:

$$P \, . \, t = \frac{G_p}{g} v \tag{27}$$

Popęd ten uzyskujemy na zasadzie siły odrzutu, musimy więc w przeciwną stronę odrzucić masę pędną z taką szybkością, aby suma pędów wszystkich elementów masy spełniała równanie:

$$\Sigma \Delta m_i c_i = P \, . \, t$$

Pęd więc, jaki otrzymuje masa pędna względem punktu początkowego [1]), musi być równy pędowi, jakiego udzielić chcemy rakiecie.

Energia kinetyczna, jaką uzyskujemy ze spalenia się masy pędnej (E) jest nagromadzona z jednej strony w rakiecie $\left(\frac{G_p}{2\,g} v^2\right)$, a z drugiej w gazach $\left[\sum \frac{\Delta m_i c_i^2}{2}\right]$.

[1]) Punkt początkowy — miejsce, skąd rusza rakieta, np. ziemia.

Całą więc energię kinetyczną można przedstawić wzorem:

$$E = \frac{G_p}{2\,g} v^2 + \sum \frac{\Delta\, m_i\, c_i^2}{2}$$

Z powyższego wzoru widzimy, że im energia zawarta w gazach będzie mniejsza, tym energia rakiety będzie wyższa, napęd będzie się odbywał z wyższą sprawnością. Należy więc starać się, aby energia kinetyczna, zawarta w gazach, była jak najmniejsza.

Najmniej energii kinetycznej będą zawierać w sobie gazy, gdy ich szybkość względem punktu początkowego (c_0) będzie stała [1]: $c_0 = \text{const}$.

Aby uzyskać stałą szybkość gazów względem punktu początkowego, szybkość wpływu gazów z dyszy musimy zastosować w każdym momencie inną, zależną od szybkości ruchu rakiety. Szybkość ta wyraża się wzorem:

$$c = v + c_0 \tag{28}$$

Tutaj: c — szybkość wpływu gazów z dyszy
v — szybkość rakiety w danym momencie
c_0 — szybkość gazów względem punktu początkowego — stała.

Szybkość c_0 łatwo obliczyć, wychodząc z prawa o pędzie i popędzie:

$$P\,.\,t = \frac{G_p}{g}\,.\,v = \frac{G}{g}\,c_0$$

---

[1]) Udowodnić to najłatwiej na przykładzie. Jeżeli cały ciężar gazów wynosi G i zostaną one z dyszy wyrzucone z taką szybkością (zmienną w każdej chwili), że ich szybkość względem punktu początkowego będzie skierowana w przeciwną stronę niż ruch rakiety i będzie wynosić c_0, energia kinetyczna w nich zawarta wyrazi się wzorem:

$$E = \frac{G\,c_0^2}{2\,g}$$

Przyjmujemy teraz, że połowę gazów wyrzucimy tak, że szybkość pozostała będzie większa od poprzedniej o $\Delta\, c_0$, a drugą połowę tak, że szybkość pozostała będzie mniejsza o $\Delta\, c_0$. Pęd (ilość ruchu) zmianie nie ulegnie, a energia kinetyczna w tym wypadku wyrazi się wzorem:

$$E = \frac{G}{4\,g}\,(c_0 + \Delta\, c_0)^2 + \frac{G}{4\,g}\,(c_0 - \Delta\, c_0)^2 = \frac{G}{2\,g}\,(c_0^2 + \Delta\, c_0^2)$$

będzie więc o:

$$E' - E = \frac{G}{2\,g}\,\Delta\, c_0^2$$

większa niż poprzednia.

Widzimy stąd, że najmniej energii kinetycznej mieści się w gazach rzeczywiście wtedy, gdy szybkość ich względem punktu początkowego jest stała.

stąd:

$$c_0 = v \frac{G_p}{G} \tag{29}$$

Sprawność mechaniczna.

Sprawność mechaniczna silnika rakietowego, która wyraża się wzorem ogólnym:

$$\eta_m = \frac{\text{Energia kinetyczna użyteczna}}{\text{Energia kinetyczna włożona}}$$

w tym wypadku ma postać:

$$\eta_m = \frac{G_p\, v^2}{G_p\, v^2 + G\, c_0{}^2}$$

Ponieważ:

$$c = v \frac{G_p}{G}$$

Otrzymamy po przekształceniu i uproszczeniu:

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \frac{G_p}{G}} \tag{30}$$

Ze wzoru 30 widzimy, że przy tym sposobie napędzania rakiety sprawność mechaniczna również zależy jedynie od stosunku $\frac{G}{G_p}$ i jest tym większa, im stosunek ciężaru masy pędnej do ciężaru rakiety $\left(\frac{G}{G_p}\right)$ jest większy [1]).

---

[1]) Dla przykładu przeliczę sprawność maksymalną według wzoru 30 przy $\frac{G}{G_p} = 3{,}92$

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \frac{1}{3{,}92}} = \frac{1}{1{,}255} = 0{,}797$$

Jak widzimy, sprawność mechaniczna przy tym sposobie napędzania jest około 15% wyższa niż sprawność przy tym samym stosunku $\frac{G}{G_p}$ i napędzaniu ze stałą szybkością wylotową gazów.

(Sprawność dla ruchu poziomego przy stałej szybkości wylotowej gazów wynosiła 0,648. Zaznaczyć tu należy, że sprawność ta była sprawnością maksymalną).

Gdy stosunek $\frac{G}{G_p}$ dąży do nieskończoności, η_m dąży do 1.

Wzór 30 daje nam krańcowe maksymalne sprawności, jakie w ogóle można osiągnąć przy napędzie rakietowym.

Podkreślam tu jeszcze raz, że w tym przypadku szybkość wylotowa gazów musi być zmienna i to tak zmienna, aby w każdej chwili był spełniony warunek:

$$c_0 = c - v = \text{const}$$

c — szybkość wpływu gazów w danej chwili
v — „ rakiety „ „ „

Wnioski ogólne.

Uzyskanie przebiegu spalania, w którym szybkość wypływu gazów z dyszy byłaby zgodna ze wzorem 28, praktycznie biorąc jest nie do urzeczywistnienia. Nie mniej jednak przytoczone rozważanie wskazuje optimum, do którego należy dążyć.

W praktycznym rozwiązaniu można tę zasadę zastosować przez spalanie kolejno różnych mieszanek, począwszy od najcięższych mało kalorycznych. Ze wzrostem szybkości rakiety należy spalać mieszanki, dające coraz wyższe szybkości wylotowe.

Zakończenie.

Referat niniejszy nie wyczerpuje zagadnienia sprawności mechanicznej napędu rakietowego całkowicie. Szereg szczegółów należałoby szerzej opracować. Ale nie o to mi chodziło. Chciałem w tym referacie zwrócić uwagę na charakterystyczne cechy sprawności mechanicznej, a przede wszystkim na znaczenie stosunku ciężaru masy pędnej do ciężaru samej rakiety.

Dotychczas wszyscy autorowie za zmienną niezależną brali stosunek $\frac{c}{v}$, a stosunek mas (czy ciężarów) traktowali jako wielkość pochodną, niejako drugorzędną.

Tymczasem stosunek $\frac{G}{G_p}$, użyty przeze mnie za zmienną niezależną, jest dla technika wielkością znacznie bliższą i łatwiej uchwytną, a przede wszystkim w sposób więcej bezpośredni skierowującą myśl ku poszukiwaniu mas pędnych o dużym ciężarze właściwym.

332:670

EDWARD ŻMIJA

OSZCZĘDNOŚĆ W PRZEMYŚLE[1])

Referat ten nie ma pretensji do całkowitego omówienia i dostatecznego wyczerpania wszystkich możliwych do osiągnięcia oszczędności, tego niezmiernie ważnego dla nas zagadnienia, lecz raczej niech będzie zapoczątkowaniem wyliczania i szukania dalszych realnych i praktycznie możliwych zagadnień oszczędnościowych dla poszczególnych specjalności.

Cały referat podzielony jest na VII części, w formie przykładów.

I. Pierwszym takim przykładem oszczędności jest *chromowanie sprawdzianów i narzędzi*, które może dać rocznie korzyści lub oszczędności sięgające setek tysięcy złotych.

Składają się na to następujące czynniki:

1. Sprawdziany i narzędzia chromowane pracują dłużej 3 — 15 razy.

2. Istnieje możność naprawy sprawdzianów i narzędzi zużytych czy też zabrakowanych.

3. Istnieje możność wielokrotnego chromowania sprawdzianów i narzędzi — z czym łączy się poważna oszczędność na tworzywach, (zwłaszcza tych droższych, stopowych). Czynnik ten odgrywa pierwszorzędną rolę na wypadek wojny, w razie braku tworzyw.

Jeżeli przyjmiemy miesięczne zapotrzebowanie albo zużycie sprawdzianów, np. 400 szt. po średniej cenie 80 zł, to w ciągu roku war-

---

[1]) Referat wygłoszony w S. I. M. P. i Z. T. R. P. w Stalowej Woli dnia 13 października 1938 r.

tość tych sprawdzianów wyniesie ∾ 380.000 zł; zakładając, że sprawdziany chromowane pracują tylko ∾4 razy dłużej, a koszt chromowania jest przeciętnie nie większy niż 4 zł za sztukę, wnioskujemy, że wartość tych sprawdzianów podniosłaby się prawie 4-krotnie lub też zapotrzebowanie na sprawdziany będzie 4 razy mniejsze, czyli przy naszym założeniu wyniesie sumę ∾ 100.000 zł (380.000 : 4 = 95.000 zł + koszt chromowania 4.800 zł). A zatem oszczędność wyniesie ∾ 280.000 zł. Biorąc pod uwagę np. duże pierścieniowe sprawdziany o ∅ ∾ 150 — 250 mm, których cena waha się ∾ 300 zł, a koszt jednego chromowania jest nie wyższy niż 6 zł (przy tym można je wciąż odnawiać po zużyciu)—widzimy, jak duże są tutaj możliwości oszczędności. Również należy wziąć pod uwagę oszczędność, jaką przez to otrzymamy operując mniejszą ilością sprawdzianów, mniejszą ilością zamówień, mniejszą ilością niedotrzymanych terminów, a z tym związaną — mniejszą ilością przestojów nie produkcyjnych itd.

Przy tym wszystkim mamy niezmiernie ułatwioną konserwację oraz możliwość szybkiej naprawy sprawdzianu zabrakowanego na źle wykonany wymiar. Możność odnowienia wytartych suwmiarek itp., w ilości ∾ 100 szt. rocznie, może dać oszczędność do 3.000 zł.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę narzędzia tnące, zwłaszcza takie jak np. rozwiertaki, przeciągacze, pilniki, moletowniki, gwintowniki, piłki, noże profilowe, częściowo frezy zataczane i wiertła o ∅ ponad 5 mm, to osiągnięcie ∾ 35.000 — 50.00 zł oszczędności jest najzupełniej realne i możliwe (już przy zapotrzebowaniu ∾ 400 szt. narzędzi miesięcznie, nie licząc w tym zwykłych noży tokarskich i frezów).

Jeszcze większą oszczędność da się uzyskać na narzędziach ciągowych jak stemple ciągowe, tłoczniki. Przy zapotrzebowaniu 500 szt. miesięcznie małych stempli, w cenie ∾ 15 zł sztuka, lub 100 szt. stempli dużych, w cenie ∾ 80 zł sztuka, można zaoszczędzić na stemplach chromowanych ∾ 70.000 — 75.000 zł rocznie[1]).

---

[1]) 500 szt. × 12 × 15 zł = 90.000 zł.

Koszt chromowania	500 × 12 × 1 zł =	6.000 zł.
Wydajność 5 × większa za cenę		96.000 zł.
lub 5 × mniejsze zapotrzebowanie stempli za cenę		19.200 zł.

czyli oszczędność wyniesie:

90.000 — 19.200 zł = 70.800 zł rocznie.

Koszt chromowania stempla większego 5 zł.

Aby bliżej wyjaśnić sprawę korzystnego wpływu chromowania na narzędzia, należy zaznaczyć, że warstwa chromu na narzędziu spełnia potrójną rolę:

1. podwyższa znacznie twardość powierzchni, do 900 j. Br.;

2. warstwa chromu dzięki swojej specyficznej własności (śliskości) działa jak medium poślizgowe lub, inaczej, spełnia rolę smaru, dzięki czemu mamy mniejsze zużycie, wiór nie nalepia się na ostrza i nie zapycha narzędzi drobnozębnych, jak pilniki, moletowniki;

3. warstwa chromu chroni narzędzie lub t.p. przed korozją, dzięki czemu konserwacja jest bardzo znacznie uproszczona—co szczególną rolę odgrywa przy narzędziach pomiarowych.

Mało rozpowszechniony proces chromowania tłumaczy się tym, że:

1. jest to proces niewątpliwie trudny i kapryśny, wymagający bogatego doświadczenia w tej dziedzinie;

2. sam przebieg procesu chromowania nie jest jeszcze całkowicie naukowo wyjaśniony, a opracowania praktyczne dla przemysłu (jak np. składy elektrolitów) są chronione patentami. Również ogłaszane w prasie technicznej rezultaty wydajności narzędzi chromowanych różnią się dosyć znacznie (jakkolwiek wszystkie są zgodne co do korzystnego wpływu na wydajność). Jedne badania wykazują, że np. rozwiertak chromowany pracuje 3 — 5 razy dłużej, inne — 10 razy dłużej, jeszcze inne — 15 razy dłużej (te ostatnie dane odnoszą się właściwie do pracy w żeliwie). Jedne badania wykazują, że sprawdziany chromowane pracują 10 — 12 razy dłużej, inne — tylko 5 — 8 razy dłużej. Te różne wyniki też nie przyczyniają się do wyjaśnienia istotnej wartości chromowania.

Otóż abstrahując tutaj już od tego, że w jednej fabryce może być chromowanie lepiej opanowane, w drugiej gorzej, że mogą być różne warunki pracy i założenia, główna przyczyna leży w tym, że jeżeli weźmiemy sprawdzian, np. o twardości 620 j. Br. ze stali narzędziowej węglowej, który sprawdzał przed chromowaniem 5.000 szt. do czasu zużycia się i taki sam sprawdzian pochromowany, który sprawdził 50.000 szt., to powiemy, że wydajność jego wzrosła 10 razy.

Jeżeli jednak weźmiemy taki sam sprawdzian o tej samej twardości 620 j. Br., jednak ze stali wysokostopowej (jak np.: KACx, FR itp.), a więc odporniejszej na ścieranie, to sprawdzi on niewątpliwie większą ilość sztuk, np. 10.000 szt. Jeżeli taki sprawdzian pochromujemy, to sprawdzi on 50.000 szt., czyli tak samo jak sprawdzian ze stali narzędziowej węglowej, dlatego że w obu tych wypadkach w pra-

cy brała udział zewnętrzna warstwa chromu ,a nie tworzywo sprawdzianowe. Zatem w tym drugim wypadku sprawdzian chromowany pracował tylko 5 razy lepiej od niechromowanego.

Podobnie ma się sprawa i z innymi narzędziami. Z tego wynika, że jeżeli idzie o narzędzia chromowane, to byłoby rzeczą nieracjonalną dawać tworzywa droższe stopowe — gdyż idzie nam tylko o twarde podłoże. Odnosi się to naturalnie do tych narzędzi, które nie pracują w wyższych temperaturach, tak jak np. noże tokarskie, gdzie stal szybkotnąca jest konieczna. Ze względu jednak na obróbkę termiczną sprawdzianów, stosowanie stali chociażby niskostopowych będzie konieczne.

II. Narzędzia z końcówkami z tworzyw wysokowydajnych. Do tej grupy narzędzi przede wszystkim należyć będą noże z nalutowanymi płytkami ze stali szybkotnącej lub z twardych stopów, a nawet diamentów.

Jeżeli weźmiemy dla przykładu zapotrzebowanie na 200 szt. noży tokarskich miesięcznie, tylko średniej wielkości o wadze ∼ 1,25 kg, wykonanych w całości ze stali szybkotnącej średniego gatunku, po cenie ∼ 25 zł/szt., o łącznej wartości 5.000 zł i tyleż noży wykonanych z płytkami nalutowanymi, ze stali szybkotnącej najwyższego gatunku (o dwukrotnie wyższej wydajności), po cenie ∼ 20 zł/szt., o łącznej wartości 4.000 zł oraz tyleż noży z płytkami z twardego stopu (o trzykrotnie wyższej wydajności), po cenie ∼ 34 zł/szt., łącznej wartości 6.800 zł, to porównywając te sumy widzimy, że noże z płytkami z twardych stopów są droższe o 70% w stosunku do noży z płytkami ze stali szybkotnącej najwyższego gatunku. Ze względu jednak na niedużą jeszcze ilość używanych noży z płytkami z twardych stopów oraz ze względu na ich specjalny charakter pracy i droższe ostrzenie, w dalszym ciągu przykładu weźmiemy pod uwagę tylko noże całkowite ze stali szybkotnącej, średniego gatunku i noże z płytkami ze stali szybkotnącej, najwyższego gatunku. Oszczędność, jaką uzyskamy przy nożach z lutowanymi płytkami (o ∼ dwukrotnie wyższej wydajności nie branej w rachubę), wyniesie ∼ 12.000 zł rocznie. Jeżelibyśmy wzięli pod uwagę noże duże, np. o wadze ∼ 9 kg, to oszczędność ta byłaby już znacznie wyższa; np. przy zapotrzebowaniu takich noży w ilości tylko 50 szt. miesięcznie, oszczędność roczna na nożach lutowanych z płytkami ze stali szybko-

tnącej najwyższego gatunku wyniosłaby ∾ 52.000 zł, nie licząc znacznie wyższej wydajności[1]).

Nie są to jednak liczby oszczędności rzeczywistej, gdyż nóż jednolity daje się większą ilość razy ostrzyć i zaprawiać, gdy tymczasem nóż z nalutowaną płytką musi mieć tę całą operację wykonania powtórzoną przynajmniej 2 — 3 razy lub więcej, aby swoim czasem pracy dorównać nożowi jednolitemu. Z drugiej znowu strony należy uwzględnić to, że:

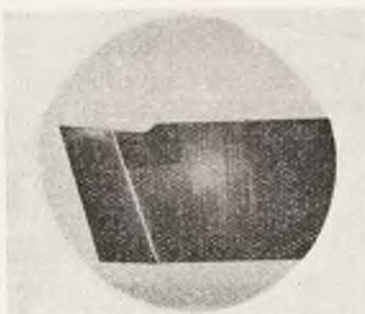
1) płytka noża wykonana jest ze stali szybkotnącej o znacznie wyższej wydajności;

2) żaden nóż nie jest zużyty całkowicie i przy tym zużycie to idzie dość powoli, (t.zn. ilość ostrzeń takiej płytki jest dość znaczna);

3) noże jednolite mają uruchomiony na lata całe poważny kapitał w swoim materiale;

4) zużycie efektywne stali szybkotnącej jest bezsprzecznie mniejsze, a zatem korzystne i dla ogólnej państwowej gospodarki surowcowej.

Uwzględniając to wszystko, nieracjonalne byłoby dzisiaj wykonywanie narzędzi całkowicie z tworzyw wysokowydajnych; odnosi się to nie tylko do noży, ale również i do frezów, długich rozwiertaków itp.



Rys. 1.

Na rys. 1 widać końcówkę noża tokarskiego z nalutowaną płytką ze stali szybkotnącej.

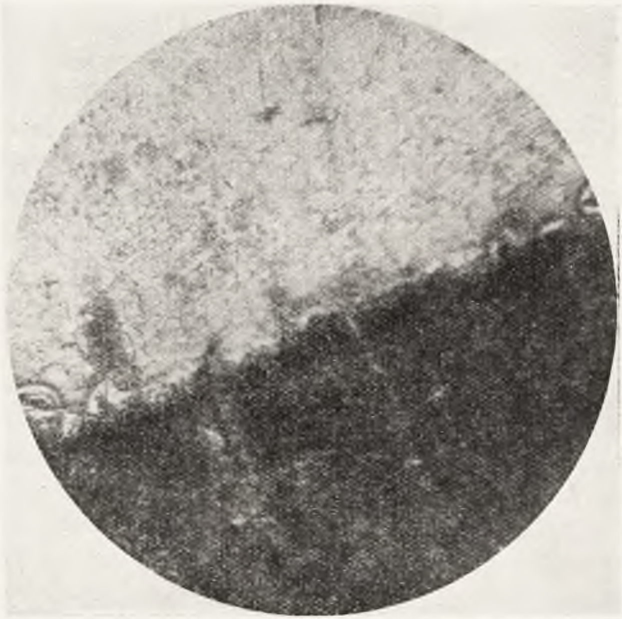
Jako lut używany jest do płytek ze stali szybkotnącej specjalny

---

[1]) Koszt całkowitych 50 szt. noży 6.100 zł.
Koszt 50 noży lutowanych 1.700 zł.

proszek, który ma tę własność, że samo lutowanie odbywa się w temperaturze ∾ 1250° C. (lut staje się płynny), a późniejsza operacja hartowania noża odbywa się w temperaturze ∾ 1320° C., nie rozlutowywując miejsca spojenia. Metoda ta daje tak dokładne jednolite i mocne spojenie, że po oszlifowaniu noża trudno rozpoznać miejsce spojenia.

Rys. 2 przedstawia strukturę miejsca spojenia płytki z oprawką pod powiększeniem 300 ×.



Rys. 2.

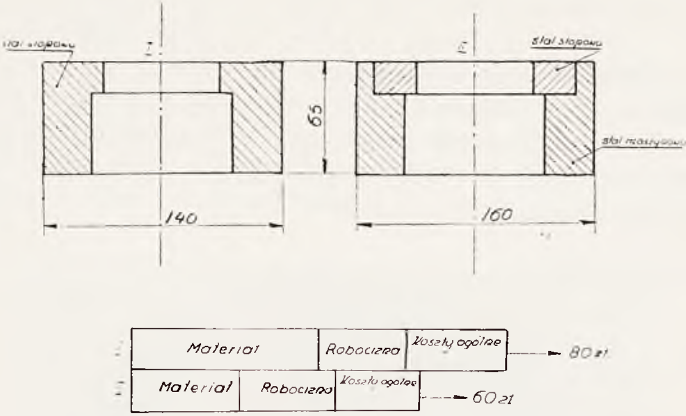
Jeżeli idzie o lutowanie płytek z twardych stopów, to jest ono znacznie prostsze.

Rys. 3 i 4 przedstawiają schematycznie rozwiązanie konstrukcyjne narzędzi wykrojowych o końcówkach pracujących nalutowanych.

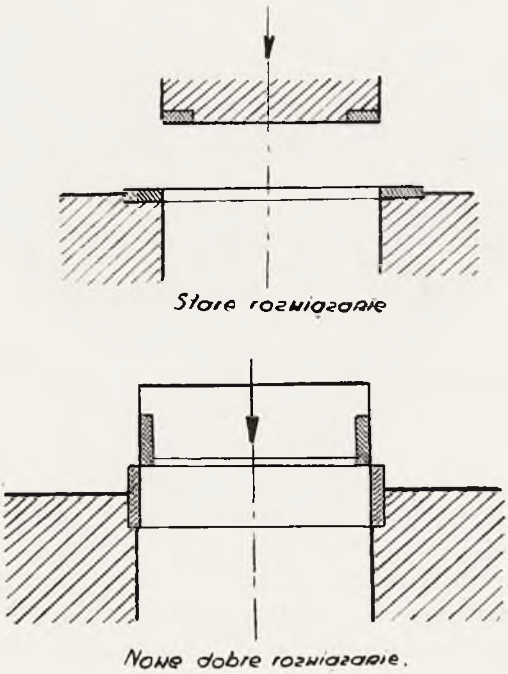
Rozwiązanie to daje nie tylko znaczną oszczędność na drogim tworzywie, ale równocześnie zapewnia łatwą wymianę zużytych końcówek.

III. *Oszczędność na tworzywach* można podzielić przede wszystkim na:

1. stosowanie tworzyw możliwie jak najtańszych, uwzględniając jednak osiągnięcie odpowiedniej wydajności;



Rys. 3.



Rys. 4.

2. ograniczenie i oszczędność używania tworzyw, których produkcja oparta jest na surowcach zagranicznych.

Pogodzenie obu tych warunków nie zawsze jednak daje się przeprowadzić tam, gdzie nie ma w kraju takich podstawowych metali

jak np. chrom, wolfram, miedź, cyna itd. Dlatego sprawa ta wymaga poważnego i gruntownego przestudiowania, jaką drogę wybrać w każdym poszczególnym rodzaju produkcji.

Są warunki, w których zastąpienie zagranicznych surowców tworzywami opartymi o surowce krajowe (które na pierwszy rzut oka — powinny być użyte) może okazać się jeszcze bardziej niekorzystne.

Przykładem takiego rozwiązania mogą być chociażby sprawdziany, gdzie cena i czas pracy uzależnione są ściśle od rodzaju zastosowanego tworzywa. Zastąpienie na wypadek wojny obecnie używanych tworzyw sprawdzianowych — tworzywami węglowymi, dałoby oszczędność na takich składnikach jak Cr i Mn, które sprowadzamy z zagranicy. Oszczędność ta będzie jednak znikoma, jeżeli się zważy, że stale sprawdzianowe zawierają zaledwie około 0,5 — 1,5% Cr i 0,5 — 2% Mn w stosunku do tworzyw narzędziowych, w których zawartość tych składników jest znacznie wyższa:

$$\begin{aligned} Cr &\sim 4 - 12\%, \\ W &\sim 1 - 20\%, \\ Co &\sim 2 - 10\%, \\ V &\sim 1 - 2\%, \end{aligned}$$

a które nie dadzą się zastąpić na wypadek wojny.

Zaoszczędzenie takich składników jak Cr, Mn byłoby pożądane raczej w stalach konstrukcyjnych (Cr = 0,6 — 1%, Mn = 0,5 — 1%, Ni = 2 — 5%), na które zapotrzebowanie jest znaczne. Wyeliminowanie stosunkowo niedużego zapotrzebowania Cr i Mn w stalach sprawdzianowych i zastąpienie ich stalami węglowymi spowoduje znacznie większą ilość braków, ze względu na potrzebę intensywnego (ostrego) hartowania stali węglowych w wodzie, co pociąga za sobą nie tylko większą ilość pęknięć, ale — co ważniejsze — większą deformację sprawdzianów i większe naprężenia wewnętrzne.

Sprawa większej deformacji powoduje konieczność stosowania większych naddatków na szlifowanie (stal węglowa wymaga przy tym bardzo ostrożnego szlifowania, aby nieodpuścić powierzchni) *i znacznie dłuższego czasu na kosztowną operację wykończenia sprawdzianu* (docieranie).

Czas docierania sprawdzianów profilowych (szablonów) wzrośnie przez to bardzo poważnie. Nie licząc się już z ceną sprawdzianu na wypadek wojny, *należy jednak wziąć pod uwagę czas potrzebny do wykonania sprawdzianu, czyli zdolność wytwórczą warsztatu na wypadek wojny* (i ewentualne opóźnienie innej produkcji z tego powodu).

Zdolność produkcyjna powinna być jak największa, a zatem czas na poszczególne elementy musi być skrócony do minimum. Ten punkt jest sprzeczny z wyeliminowaniem tworzyw sprawdzianowych stopowych na korzyść tworzyw sprawdzianowych węglowych. Który z tych dwóch czynników jest ważniejszy: czy oszczędność na stosunkowo małym zapotrzebowaniu Cr i Mn, czy oszczędność na czasie,—na to pytanie nie można dać jednej odpowiedzi dla całości zagadnienia sprawdzianowego, zwłaszcza że różnica w cenie na tych tworzywach jest nieznaczna ($\sim$ 0,5 zł/kg).

Zasadniczo nie powinno się rezygnować z tworzyw sprawdzianowych stopowych tam, gdzie koszt (czas) wykonania jest duży w stosunku do ceny tworzywa na sprawdzian (bywa to prawie w 60%). Wszędzie tam, gdzie mamy sprawdziany duże, ciężkie, gdzie koszt robocizny w stosunku do ceny tworzywa jest niewysoki, gdzie jest łatwa obróbka lub elementy nie podlegają obróbce termicznej, — należy stosować tworzywa niestopowe węglowe i to zależnie od wymagań i pracy sprawdzianu, tworzywa możliwie tanie.

Jeżeli mowa o oszczędnościach na tworzywach sprawdzianowych, to należałoby jeszcze przypomnieć, aby konstruktorzy sprawdzianów poszli po tej samej drodze, co konstruktorzy narzędziowi— „tworzywa wysokowydajne tylko na końcówki i powierzchnie bezpośrednio pracujące".

Wyeliminowanie tworzyw wysokostopowych (np. stali szybkotnących) na narzędziach tnących jest jeszcze bardziej niemożliwe. Jedynie na narzędziach małych, takich jak np. frezy trzpieniowe do $\varnothing \sim$ 8 mm, możnaby nie stosować stali szybkotnącej, gdyż narzędzia takie trudno jest praktycznie wykorzystać przy odpowiednich szybkościach skrawania, przewidzianych dla stali szybkotnących. Zastosowanie jednak stali stopowej tańszej wymaga ostrożniejszego szlifowania (ostrzenia).

Ze względu na ogromną ważność tego zagadnienia, należałoby tę sprawę dokładnie zbadać, czy jednak nie istnieją możliwości zastąpienia drogich stali wysokostopowych (szczególnie szybkotnących) stalami stopowymi tańszymi, nie obniżając przy tym dotychczasowej wydajności narzędzi. Przeprowadzone w tym kierunku doświadczenia[1]) wykazały, że frez ze stali szybkotnącej o $\varnothing$ 60 mm, $z = 16$, przy

---

[1]) Ogłoszone w książce p. t. „Nowoczesne zasady obróbki termicznej narzędzi" E. Żmija, 1937 r. str. 12.

skrawaniu stali maszynowej C = 0,35%, t = 2 mm, przefrezował następujące długości drogi:

z	1	ostrzenia	— 7	m	przy	V =	22	m/min.,	p =	53	mm/min;
„	2	„	— 27	„	„	„	22	„	„	53	„
„	2	„	— 57	„	„	„	11	„	„	53	„
„	3	„	— 60	„	„	„	22	„	„	30	„
„	4	„	— 58	„	„	„	22	„	„	85	„

Taki sam frez ze stali taniej niskostopowej (1% C, 1% W) w tych samych warunkach przefrezował:

z	1	ostrzenia	— 29	m	przy	V =	22	m/min.,	p =	53	mm/min;
„	2	„	— 26	„	„	„	22	„	„	53	„
„	2	„	— 50	„	„	„	11	„	„	53	„
„	3[1]	„	— 0,5	„	„	„	22	„	„	30	„
„	4	„	— 24	„	„	„	22	„	„	85	„

Jak widać z tych danych, wyniki otrzymane ze stali niskostopowej taniej — są bardzo dobre.

Stal szybkotnąca jest tworzywem wybitnie przeznaczonym do pracy tam, gdzie występuje silniejsze wytwarzanie ciepła podczas pracy przy temperaturze do 600° C, a więc na noże tokarskie, mniej już na frezy, a już nieracjonalnie byłoby stosować ją na rozwiertaki i przeciągacze.

W zagadnienie to wchodzi jednak sprawa szlifowania (ostrzenia), od której w bardzo znacznej mierze uzależnione jest stosowanie stali szybkotnącej. Jeżeli więc idzie o niektóre narzędzia (zwłaszcza frezy zataczane), to możnaby sprawę tak postawić: albo drogie tworzywo, albo droższe szlifowanie (ostrzenie). Ten drugi czynnik jest jednak dość trudny do upilnowania, zwłaszcza przy systemie premii akordowej.

Stosując już stal szybkotnącą pamiętać należy, że stal o wyższej zawartości węgla daje poważnie większą wydajność (rys. 5) i na ten składnik nie mamy ograniczenia (za wyjątkiem trudności dla hut).

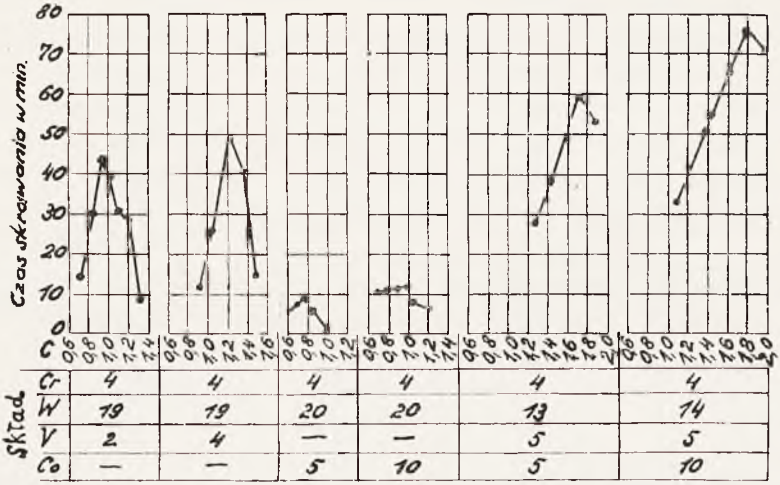
Jeżeli więc jest to możliwe (uzależniając to od rodzaju narzędzia), należy stosować stal szybkotnącą o wyższej zawartości węgla, a nawet nawęglać niektóre narzędzia (jak np. wiertła).

Rys. 6 przedstawia strukturę stali szybkotnącej, nawęglonej, zahartowanej i odpuszczonej w 620° — 15′, pow. 420 ×.

Tworzywem wyższym od stali szybkotnącej są już twarde sto-

---

[1]) Ostrzono jak frez ze stali szybkotnącej.


Czas skrawania w min.
80
70
60
50
40
30
20
10
0
C
Skład
Cr 4 4 4 4 4 4
W 19 19 20 20 13 14
V 2 4 — — 5 5
Co — — 5 10 5 10

Rys. 5.

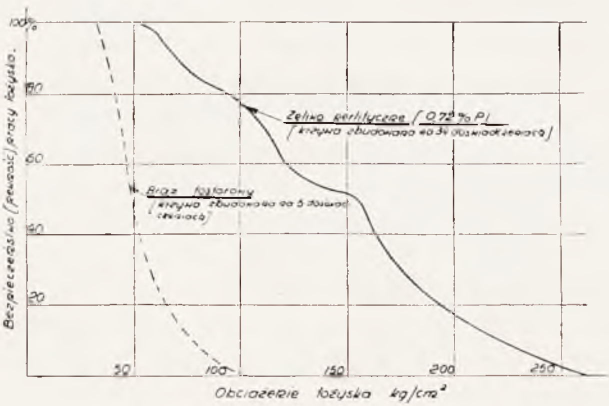

nawęglona.

Rys. 6.

py. Według danych niemieckich[1]) wydajność 1 kg twardego stopu równa się wydajności 50 — 100 kg stali szybkotnącej. Nawiasem mówiąc, liczba ta wydaje się mocno przesadzona. Stosunek cen tych tworzyw przy tym założeniu wynosi ∾ 1 : 1 do 1 : 2. Oszczędności, jakie uzyskują Niemcy na dewizach za twarde stopy, wynoszą 12 — 25-krotną wartość surowców, potrzebnych do produkcji tych twardych stopów (wolfram).

Przeprowadzone u nas w Zakładach Południowych próby z twardymi stopami naszej produkcji „Baildonit" dały wyniki bardzo mało ustępujące twardym stopom Widia.

Następną oszczędnością na tworzywach byłoby zastąpienie drogiego brązu łożyskowego — żeliwem perlitycznym.



Rys. 7.

Przy zapotrzebowaniu miesięcznym np. ∾ 500 kg brązu, oszczędność na zastąpieniu brązu łożyskowego żeliwem perlitycznym wyniosłaby 21.000 zł rocznie (przyjmując cenę brązu 4,5 zł/kg, a żeliwa perlitycznego 1 zł/kg). Nie potrzeba dodawać, jaką oszczędność możnaby uzyskać, gdyby w ten sposób potraktowano chociażby połowę całego krajowego zapotrzebowania na brąz łożyskowy. Pozycja ta zasługuje tym bardziej na uwagę, że łączy w sobie obydwa warunki oszczędności (wymienione na początku tego rozdziału), tj. realną oszczędność pieniężną i bardzo poważną oszczędność na takich surowcach, które sprowadzamy w dużych ilościach z zagranicy (miedź, cyna). Jeżeli idzie o techniczną stronę zastąpienia brązu łożyskowego (fosforowego) — żeliwem perlitycznym, to przeprowadzone przeze

---

[1]) Werkstattstechnik 1937, Nr 9, str. 198.

mnie doświadczenia wykazały bardzo dobrą pracę łożysk z żeliwa perlitycznego, tam gdzie przedtem były łożyska wykonane z brązu fosforowego (łożyska w silnikach elektrycznych, w warunkach gdzie wymagane było duże bezpieczeństwo pracy). Przeprowadzone w tym kierunku badania w Niemczech[1]) z żeliwem perlitycznym i brązem fosforowym przedstawia rys. 7.

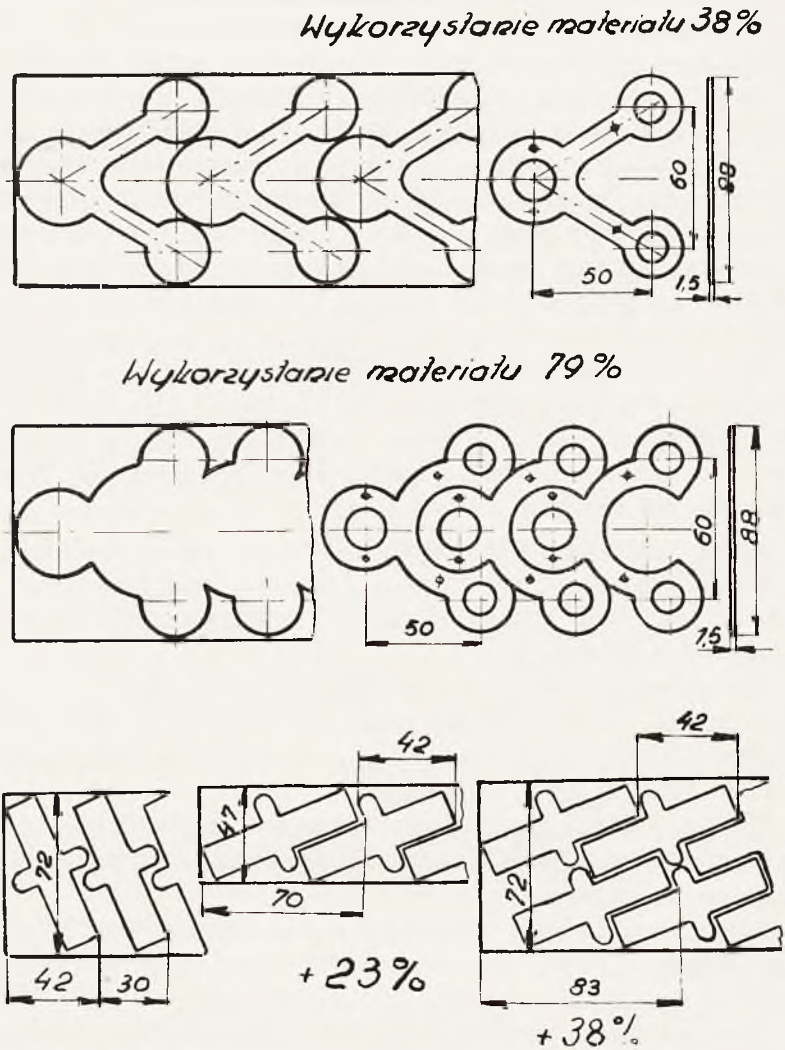
Wstępne doświadczenia przeprowadzono z różnymi materiałami, tak na łożyskach jak i na wałkach (ze szczególnym uwzględnieniem wpływu fosforu) i o różnym stopniu wykończenia powierzchni, przy różnych szybkościach i obciążeniach od 9 — 300 kg/cm^2. Równocześnie dużą wagę zwrócono na nowoczesne poprawne wykonanie rowków smarowniczych o krawędziach dobrze zaokrąglonych. Jak widać z rys. 7, żeliwo perlityczne o zawartości 0,72% P jako tworzywo łożyskowe przewyższa brąz fosforowy (o składzie Cu = 86% ± 1, Sn = 14% ± 1, twardość Brinella 90 kg/mm^2). W zagadnienie to wchodzą jednak jeszcze łożyska kulkowe, wałkowe, a jeżeli idzie o obrabiarki, — łożyska wałkowo-kulkowe specjalne (nieznormalizowane).

Trudno byłoby na tym miejscu powoływać się na obszerną nowoczesną naukę o łożyskach oraz trudno byłoby zebrać wszystkie dane, które łożyska są lepsze. Wg mojego zapatrywania, łożyska ślizgowe są zdecydowanie lepsze (dokładniejsze i trwalsze) od łożysk kulkowych albo wałkowych, nawet tych specjalnych. Dowodem tego niech będą takie obrabiarki, jak szlifierki „Fortuna", „Cincinnati", „Billeter", wytaczarki „Niles", tokarki „Schütte", „Pittler", „Reinecker", „Magdeburg", w których wszystkie pomocnicze i mniej ważne łożyska są kulkowe, a łożyska główne wrzecionowe są brązowe ślizgowe. Łożyska takie mogą pracować lata całe bez najmniejszych defektów.

Często przytaczane zalety szybkiej wymiany łożysk kulkowych albo wałkowych podczas remontu (wymiana nie jest taka szybka, często trzeba rozbierać całą skrzynkę biegów) wyglądają zupełnie inaczej, jeżeli weźmiemy pod uwagę sprawę nabycia tych specjalnych (nieznormalizowanych) łożysk na wypadek wojny, które trzeba będzie szukać i sprowadzać z zagranicy. W razie niemożności nabycia tych specjalnych łożysk nasuwa się pytanie, czy nie zajdzie konieczność poważnych przeróbek. Im bardziej łożysko jest specjalne i staranniej dobierane przez firmę budującą obrabiarki, tym — jako element najczulszy — bardziej niebezpieczne. Dopiero stworzenie własnego

[1]) Maschinenbau 1935 r., Nr 13 — 14, str. 367, w artykule A. Segler'a „Gusseisen als Lagermetall".

przemysłu łożyskowego i znormalizowanie typów łożysk obrabiarkowych rozwiąże tą sprawę, jednak nie w sensie przewagi nad łożyskami ślizgowymi. Z tych względów sprawa znalezienia tworzywa zastępczego, jakim okazało się żeliwo perlityczne, jest dostatecznie jasna.



Rys. 8.

Ze sprawą łożysk wiąże się *sprawa smarów*. Jest to czynnik odgrywający poważną rolę w przemyśle i zasługuje na jak największą uwagę. Ograniczę się na tym miejscu tylko do przypomnienia, że

zbyt obfite smarowanie i związane z tym przelewanie i wyciekanie na podłogę jest równie niepotrzebne jak szkodliwe. Poza tym odpowiednie zbieranie, filtrowanie olejów zużytych i ich ponowne użycie daje w sumie duże oszczędności w każdej fabryce.

Następnym punktem, odgrywającym odpowiednią rolę w oszczędności na tworzywach, jest *dokładne cechowanie wszystkich narzędzi,* z jakiego materiału zostały wykonane, aby po zużyciu przy zakwalifikowaniu tych narzędzi do szmelcu lub przeróbki nie było stracone tworzywo. Jest to tym bardziej ważne, im droższe jest tworzywo. Tak samo niezmiernie ważną sprawą jest odpowiednie i skrupulatne (gwarantowane) *segregowanie wiórów* według gatunku tworzyw. Zagadnienia te nie tylko wiążą się ściśle z ogólną gospodarką surowcową, ale równocześnie dają oszczędności poszczególnym fabrykom, wynoszące rocznie dziesiątki tysięcy złotych. Dla dokładniejszego zorjentowania i uwypuklenia tej sprawy podam, że np. przy produkcji frezów 50 — 60% stali szybkotnącej idzie na wióry. Dotychczas sprowadzaliśmy z zagranicy przeszło 60.000 ton łomu i odpadków, obecnie kiedy przybył nam taki miły kłopot zwiększenia zapotrzebowania na surowce, w związku z wielkim przemysłem hutniczym w Trzyńcu, musimy jeszcze bardziej zwrócić uwagę na to zagadnienie.

Z oszczędnością na tworzywach łączy się też odpowiednie *wykorzystanie tych tworzyw* w sensie jak najekonomiczniejszego wytwarzania produkcji. Przykład takiego wykorzystania materiału na wykrojach przedstawia rys. 8.

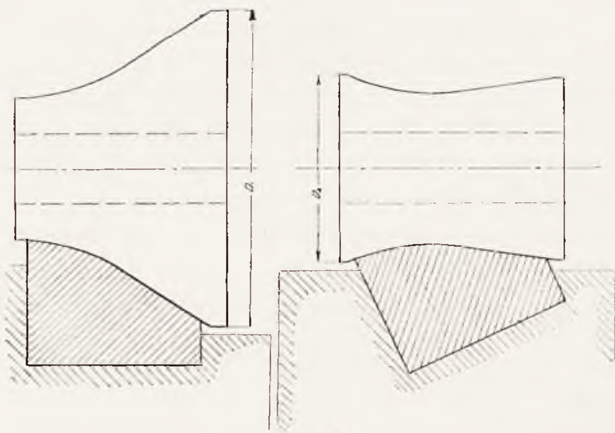
Na wykrojach należy unikać produkcji o kształtach specjalnie niekorzystnych, jak np. kształty gwiazd, kształty „U". Poza tym należy używać blachy lub taśmy cienkie, a w celu podwyższenia wytrzymałości — robić zagięcia, żeberka itd.

Na rys. 9 widać przykład oszczędnego rozwiązania konstrukcyjnego freza zataczanego, dzięki czemu ilość drogiego tworzywa zmniejszono przeszło 2-krotnie.

Innym przykładem oszczędności na tworzywach jest np. przerabianie starych zużytych frezów na noże tokarskie, przez rozcinanie i przekuwanie.

Na zakończenie tego rozdziału należy jeszcze zwrócić uwagę na *magazynowanie i zapasy tworzyw.* Otóż jest rzeczą jasną, że najbardziej pożądane byłoby posiadanie jak najmniejszych zapasów tworzyw, ze względu na martwy kapitał, jaki jest ulokowany w tworzywach. W wypadku produkcji ściśle ustalonej i określonej nie jest to rzeczą trudną, inaczej natomiast przedstawia się sprawa, gdy mamy produk-

cję najróżnorodniejszą i niedającą się ściśle z góry określić, jak np. produkcja narzędziowa. Wtenczas jedynym racjonalnym rozwiązaniem magazynowania tworzyw jest ustalenie możliwie jak najmniejszej ilości gatunków tworzyw, a za to o możliwie dużej ilości różnych wymiarów. Możliwość odpowiedniego dobrania wymiaru daje przede wszystkim oszczędność na tworzywie, na kosztach wykonania i cenie sprzedażnej oraz zysk na czasie i terminie wykonania. Przy tym posiadanie małej ilości gatunków tworzyw pozwala na łatwiejsze utrzymanie dostatecznego i niezbędnego zapasu, nie grozi nieprzewidzianym chwilowym brakiem tworzywa oraz daje możność personelowi fabryki lepszego poznania tych gatunków tworzyw (handlowcy, obsługa magazynu, hartownicy, szlifierze). Posiadanie małej ilości, odpowiednio wybranych i ustalonych gatunków tworzyw z powodzeniem zastępuje



Rys. 9.

i wyrównywa obróbka termiczna. Przy dzisiejszym stanie doskonałości obróbki termicznej można jednym gatunkiem stali zastąpić ze 100% wydajnością i kalkulacją cały szereg (dziesiątki) stali o różnych składach i własnościach. Powiedziałbym, że dla potrzeb narzędziowni — 10 gatunków stali narzędziowych z konstrukcyjnymi łącznie powinno wystarczyć.

Równocześnie nasuwa się uwaga, aby zagadnienie analizy doboru tworzyw na narzędzia, przyrządy itp. powierzone było jednemu specjaliście w biurach konstrukcyjnych, gdyż jest to sprawa bardzo ważna, decydująca o wydajności narzędzi i oszczędności w gospodarce tworzywami. Przy tym byłaby zaraz uzgadniana sprawa kształtów,

podcięć, rozkładu mas, wytrzymałości, odpowiedniego stopniowania twardości itp. w odniesieniu do procesów obróbki termicznej.

IV. *Obróbka termiczna* jest również tym czynnikiem w ogólnej gospodarce fabrycznej, który może przynieść oszczędności nie tyle bezpośrednie, ile pośrednie.

Oszczędności pośrednie — bo dopiero w pracy uwidaczniają się wszystkie korzyści, jakie otrzymuje narzędzie w obróbce termicznej.

Natomiast przeprowadzanie oszczędności bezpośrednich na procesach obróbki termicznej — prowadzi przeważnie do strat.

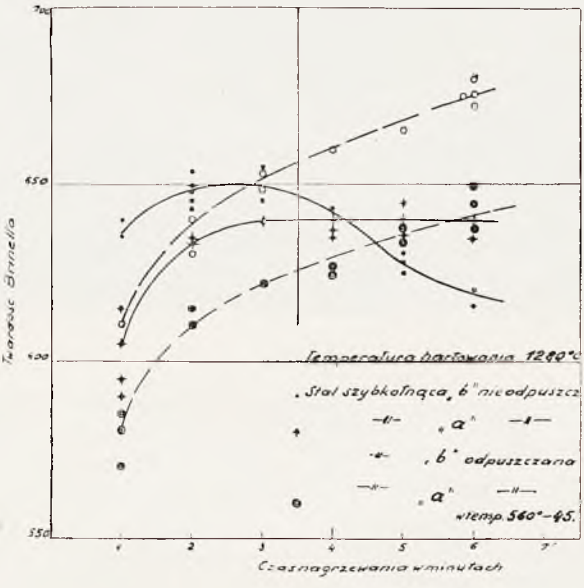
Na pierwszy plan oszczędności w obróbce termicznej wysuwa się dzisiaj t. zw. hartowanie stopniowe w gorących kąpielach. Jest to proces termiczny zmniejszający do minimum pęknięcia hartownicze, naprężenia wewnętrzne i — co szczególnie odgrywa dużą rolę — zmniejszenie do minimum deformacji przedmiotów hartowanych. Cenna ta zaleta pozwala nam dzisiaj wykonywać przedmioty do hartowania już na gotowo albo pozostawiać tylko bardzo małe naddatki na dotarcie lub raczej na t. zw. zaczyszczenie, wyrażające się w setnych częściach milimetra. Szczególnie dużą rolę odgrywa to przy produkcji (nie masowej) przedmiotów z otworami o kształtach skomplikowanych, jak np. niektóre matryce ciągowe oraz mniejsze narzędzia profilowe, jak stemple ciągowe, tłoczniki itp. W wypadkach tych, dzięki stopniowemu hartowaniu, możemy obejść się bez końcowej operacji szlifowania. Metoda ta może oddać też pewne przysługi na takich robotach, gdzie szlifowanie opłaca się lepiej od dokładnego wykończania na tokarkach, w warunkach chwilowego przeciążenia na szlifierkach.

Do dalszych oszczędności w obróbce termicznej należą odpowiednie warunki pracy pieców hartowniczych. W wielu np. fabrykach razem z rozpoczęciem normalnej pracy rozpoczyna się dopiero rozgrzewanie pieców, co trwa 2 — 5 godzin, zależnie od wielkości i rodzaju pieców. Takie warunki pracy obniżają poważnie wydajność hartowni i powodują wzrost kosztów hartowania. Wcześniejsze rozpoczęcie rozgrzewania wszystkich pieców pracujących w danym dniu daje tę korzyść, że mamy lepszy stosunek pracy produkcyjnej do pracy jałowej, tak pieców jak i personelu. Równocześnie duże i stałe obciążenie sieci elektrycznej przy rozruchu pieców jest korzystnie przerzucone na godziny wcześniejsze, mniejszego obciążenia. Przy rozpoczęciu rozgrzewania pieców o 2 — 3 godziny wcześniej możemy zaoszczędzić na samej energii i kosztach robocizny $\sim$ 1.500 — 2.000 zł rocznie na jednym piecu (przy założeniu ceny prądu elektrycznego 8 gr/kWg).

Z obróbką termiczną wiąże się też wydajność narzędzi, która bezpośrednio nie jest widoczna i niestety często oceniana jest tylko na pod-



Rys. 10.



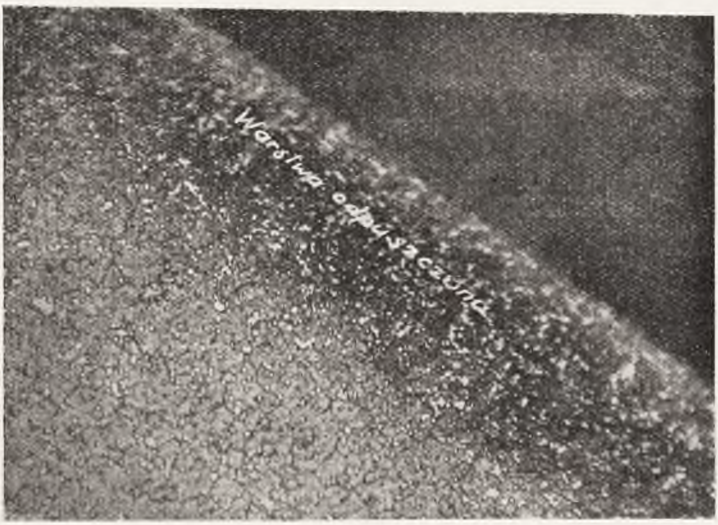
Rys. 10 a.

stawie twardości. Jest to poważne nieporozumienie, które może odbić się na ogólnej gospodarce narzędziowej, gdyż wydajność narzędzia nie ma żadnego związku z twardością narzędzia. Według danych,

wziętych z „Loewe Notizen" Nr 7/9, 1937 r.[1]), narzędzia ze stali szybkotnącej, hartowanej niżej 50° C od właściwej temperatury, posiadają twardość najwyższą, natomiast wydajność tak hartowanych narzędzi jest niższa o 30 — 40%.

Rys. 10 i 10a przedstawiają wpływ obróbki termicznej na twardość stali szybkotnących pochodzenia krajowego. Jak widać z tych wykresów — wysoką twardość można osiągnąć przy niskich temperaturach hartowania i krótkich czasach nagrzewania.

V. *Szlifowanie (ostrzenie) narzędzi* stanowi ogromnie ważną pozycję w obniżeniu kosztów gospodarki narzędziowej. Przeprowadzone przez prof. N. Sawina badania nad wydajnością gwintowników,



Rys. 11.

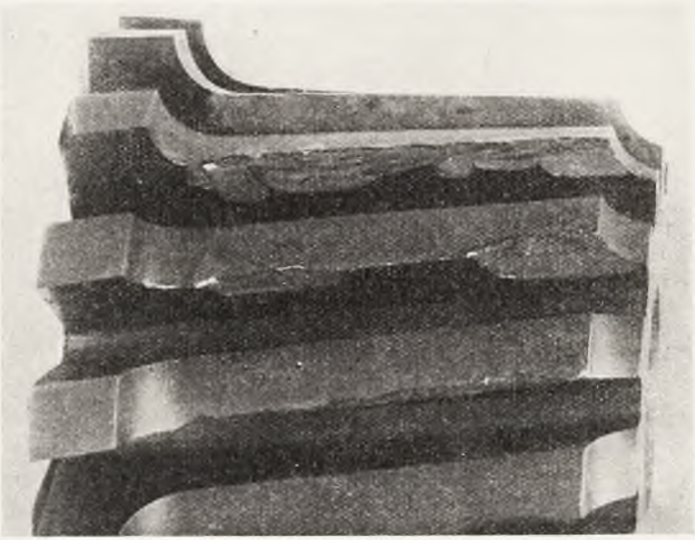
zależnie od staranności przeprowadzonego ostrzenia, wykazały, że gwintowniki szlifowane starannie (o przeciętnym czasie szlifowania 6′ 36″) dały 12 razy większą wydajność niż gwintowniki nieodpowiednio szlifowane (o przeciętnym czasie szlifowania 1′ 35″). Przy porównaniu łącznego czasu szlifowania (w tym doświadczeniu) w odniesieniu do pewnej określonej ilości wykonanej pracy—okazało się, że czas szlifowania szybkiego był prawie 3 razy większy niż czas szlifowania starannego. Jeżeli idzie o wydajność lub czas pracy sprawdzianów, to sprawa odpowiedniego szlifowania odgrywa jeszcze większą rolę. Jak

[1]) Prüfversuche bei Abnahme von Schneidwerkzeugen.

najpłytsze odpuszczenie powierzchni pracującej powoduje bardzo szybką utratę wymiaru, a z tym wiążą się koszty dużego zużycia sprawdzianów. Jest to tym bardziej niebezpieczne, że normalne metody pomiaru twardości nie stwierdzają miękkiej (odpuszczonej) zewnętrznej warstwy.

Rys. 11 przedstawia (w przekroju) strukturę odpuszczonej powierzchni narzędzia ze stali szybkotnącej w czasie szlifowania.

Rys. 12 przedstawia frez zataczany ze stali szybkotnącej, łuszczący się w czasie pracy na powierzchniach ostrzonych.



Rys. 12.

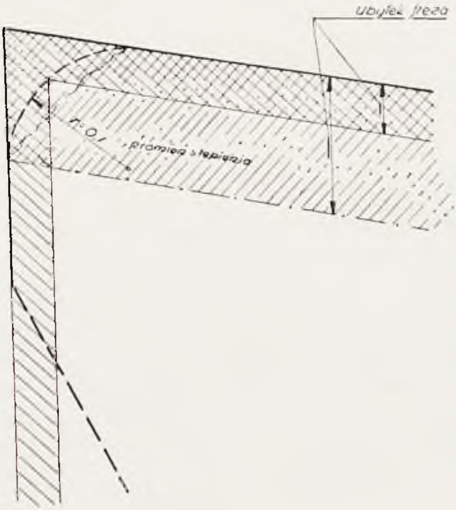
Powodem tego łuszczenia są niewidoczne rysy szlifierskie, powstałe w czasie nieodpowiedniego szlifowania (np. zbyt dużą grubością wióra lub za twardą tarczą szlifierską). Tyle o oszczędności w odniesieniu do wydajności, uzależnionej jakością szlifowania. Biorąc zagadnienie od strony ekonomii szlifowania, często stawia się pytanie, jak należy frez ścinowy ostrzyć, czy od strony czoła, czy od strony fazki — jak to się w praktyce przyjęło. Otóż frez szlifowany tylko od strony fazki:

1. nie będzie dobrze pracował, ponieważ tak szlifowane ostrze nie jest równe;

2. za każdym szlifowaniem ubywa freza bardzo dużo, bo 0,2 — 0,4 mm na średnicy.

Natomiast frez szlifowany od strony fazki i czoła:

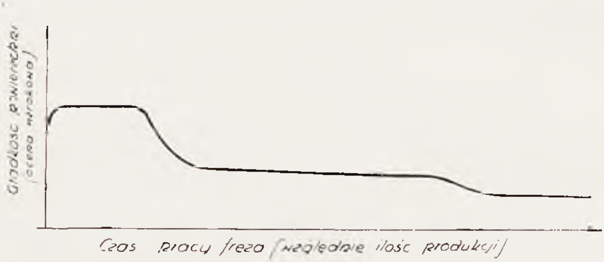
1. pracuje gładziej i dłużej ($\sim$ 2 razy);
2. ubytek na średnicy za każdym ostrzeniem wynosi tylko 0,05—0,1 mm. Jeżeli idzie o czas szlifowania w drugim wypadku, to jest on 2 razy większy, jednak frez tak ostrzony pracuje lepiej i wystarcza na większą ilość ostrzeń.



Rys. 13.

Rys. 13 przedstawia schematycznie obydwa rodzaje ostrzeń.

Korzyść i oszczędność, jaką daje ten drugi sposób, jest wyraźna i może się wyrazić poważną kwotą.



Rys. 14.

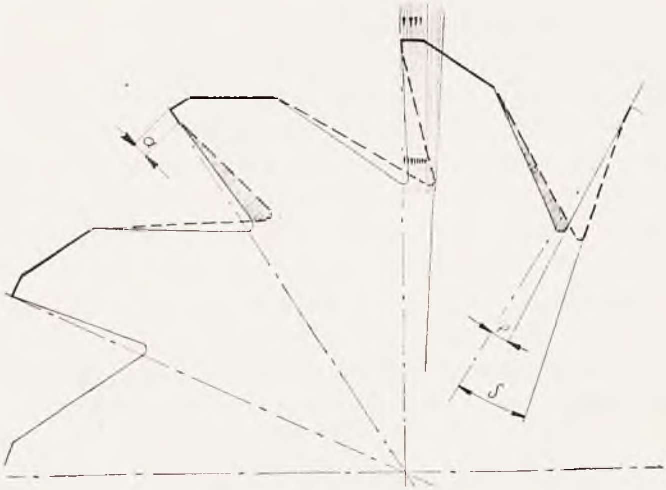
Z tą sprawą wiąże się też odpowiednie kontrolowanie przesyłanych frezów do ostrzenia, gdyż często się zdarza, że do ostrzenia idą narzędzia jeszcze niestępione lub stępione bardzo mało. Należałoby przy tym odróżniać narzędzia, które pracują wykańczająco i narzędzia

do pracy zgrubnej, które z jednego ostrzenia mogą dać znacznie większą ilość produkcji. Z tych względów kwalifikowanie do ostrzenia narzędzi zgrubnych na tej samej zasadzie, co narzędzi do obróbki wykańczającej, jest nieracjonalne.

Rys. 14 przedstawia orientacyjnie zależność między gładkością powierzchni obrabianej frezem ścinowym a czasem pracy lub ilością produkcji.

Aby ułatwić i obniżyć koszty ostrzenia frezów, proponowałbym pewną zmianę w kształcie zębów frezów przedstawioną na rys. 15 i 16.

Prawidłowy kąt „ φ " pozostałby nadal ten sam, z tą jednak różnicą, że nadanie tego kąta i ostrzenie byłoby bardzo znacznie ułatwione, gdyż cały materiał, który zawarty jest w polu kreskowanym, nie byłby już zdzierany tarczą szlifierską. Rozwiązanie to powinno dać



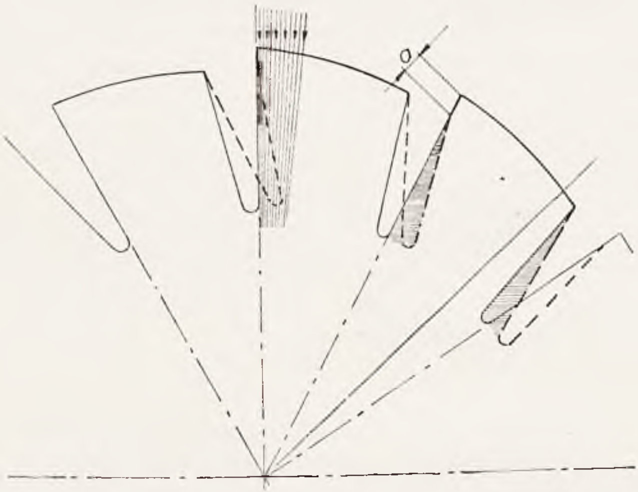
Rys 15.

oszczędność na ostrzeniu, a przy tym nie powoduje żadnych dodatkowych trudności przy wykonywaniu frezów. Jeżeli idzie o frezy zataczane, to mogłoby to mieć zastosowanie tylko w wypadkach frezów walcowych (z kompletów składanych).

W tych wypadkach ząb freza zataczanego w końcowej fazie zużycia byłby przez to nawet wzmocniony.

VI. *Drobne wyposażenia warsztatowe jako czynnik oszczędności.* Do takiego najpierw należałyby elektryczne szlifierki suportowe, które, wmontowane do suportu tokarni na miejsce noża tokarskiego, czynią tokarkę w każdej chwili szlifierką o dużej możliwości

i rozpiętości wykonywania robót. W razie większego i nieprzewidzianego natężenia robót na szlifierkach, utrzymanie terminów wykonania możliwe będzie dzięki częściowemu przerzuceniu tego obciążenia na tokarki. Dzięki możliwości wmontowania takiej szlifierki również na wytaczarkę, frezarkę lub dużą strugarkę — mamy możność wykonywania robót, które wymagałyby obrabiarek specjalnych. Poruszenie tej prostej i znanej sprawy tak szeroko na tym miejscu usprawiedliwione jest nie tylko dużą pomocą i korzyścią, jaką daje to dla warsztatu mniejszego, ale również oszczędnością (dla większych warsztatów) w inwestowaniu kapitału w drogie, a mało wykorzystane obrabiarki



Rys. 16.

specjalne. Innym oszczędnościowym przykładem drobnego wyposażenia warsztatu są np. zegary elektryczne obsługujące piece hartownicze. Jeszcze innym takim przykładem są czujniki wbudowane w niektóre obrabiarki, dzięki którym umożliwione jest wykonywanie dokładnych robót na starszych obrabiarkach.

Tyle o zagadnieniach oszczędności, odnoszących się do tworzyw i warsztatu.

VII. *Czynnik ludzki w oszczędności w przemyśle* odgrywa tak poważną i obszerną rolę, że nie ma możności omówić tego na tym miejscu, dlatego przytoczę tutaj tylko najważniejszą sprawę, jaką jest dobre współżycie ze sobą ludzi pracujących. Jest to czynnik mający olbrzymie znaczenie dla oszczędności fabrycznych. Ileż błędów, braków i trudności daje się uniknąć dzięki życzliwemu i koleżeńskiemu

uprzedzeniu, zwróceniu uwagi; dzięki przeprowadzeniu wielu spraw według uzgodnionych sposobów i projektów, wskutek czego unika się często bardzo szkodliwych tarć, zadrażnień własnych ambicji i atmosfery pracy denerwującej, mało wydajnej. Aby podnieść wydajność i zdobyć wszystkie możliwe do uzyskania oszczędności, muszą wszyscy pracownicy wychodzić z takiego założenia, że to co robią — robią tak, jakby to było ich własnością, ich przedsiębiorstwem. To wymaga znowu stworzenia takich warunków, aby ludzie ci czuli, że są zrozumieni, że ocenia się ich dobre chęci i wysiłki, że poświęca się im trochę uwagi (nie tylko maszynom), że nie zabija się ich wykazywanej incjatywy, chociażby ta inicjatywa nie była najlepsza; jednak świadczy ona o tym, że do pracy wkracza serce, zapał i zainteresowanie.

Przypuszczam, że takie zainteresowanie a zarazem i pewne korzyści mogłaby dać również t. zw. „Ogólna skrzynka wynalazków lub uwag na temat oszczędności". Niewątpliwie byłoby dużo projektów i pomysłów zupełnie bezwartościowych, jednak, czy poszukiwaniu złota nie towarzyszy przerzucanie całych ton piasku? Czy oszczędność— to nie złoto? Jakiż długi jeszcze szereg czynników składa się na podniesienie wydajności, co równoznaczne jest z oszczędnością. Naprzykład zmniejszenie hałasu na warsztacie może w wielu wypadkach nie tylko zwiększyć wydajność produkcyjną, ale równocześnie zmniejszyć ilość braków. Według doświadczeń niemieckich[1]) w fabryce o precyzyjnej obróbce, gdzie natężenie hałasu było duże, popełniano dziennie ∾ 150 błędów w pracy; po zmniejszeniu hałasu liczba błędów spadła do 5. W innym znowu wypadku produkcja wzrosła z 80 na 110. Do tej grupy zagadnień należą jeszcze takie, jak odpowiednie oświetlenie, temperatura, wentylacja itd.

Na zakończenie tego referatu, w którym zostało poruszone zaledwie kilka przykładów oszczędności, przytoczę *„12 przykazań oszczędności tworzyw w przemyśle niemieckim"*[2]).

Tworzywo nie może być oceniane tylko jako wartość pieniężna lub jako wartość odpowiedniej pracy — lecz jako dar natury, który przez nieracjonalne wykorzystanie może być bezpowrotnie stracony.

1. Zwróć uwagę wykonawcy na sposób zaoszczędzenia materiałów produkcyjnych. Tam gdzie zagadnienie to da się przeprowa-

---

[1]) Maschinenbau 1934, str. 235, w art. inż. Kruga „Weniger Lärm — bessere Arbeit.

[2]) Przetłumaczone z Werkstattstechnik 1937, Nr 9, str. 197, art. Kienzlego „Stofffragen in derWerkstatt".

dzić, zastępuj nitowanie spawaniem, obróbkę skrawania materiału — tłoczeniem lub ciągnieniem.

2. Jako kupiec nie kieruj się własną wygodą lub obawą, lecz żądaj, aby w urządzeniach twoich nie było materiałów zagranicznych i staraj się wypróbować materiały krajowe.

Przy jednakowych ofertach wybieraj oferty z krajowymi materiałami; tam gdzie zastosowanie po raz pierwszy nowego krajowego materiału nie powiodło się — nie zniechęcaj się i nie porzucaj dostawcy, lecz podziel się z nim dokładnie spostrzeżeniami swoimi, dzięki czemu będzie on mógł na podstawie twoich uwag ulepszyć swój produkt.

3. Staraj się ze wszystkich sił ulepszyć materiały krajowe, bo przez to dadzą one lepsze rezultaty niż materiały stare, używane z przyzwyczajenia. Przykładem w tym kierunku niech będzie bogata w surowce Ameryka, która wytwarza coraz więcej materiałów zastępczych.

4. Zwróć jak największą uwagę przy produkcji na dokładne pasowania i wygląd powierzchni, gdyż przez to osiągniesz dużą trwałość swoich wyrobów, a krajowi zaoszczędzisz surowców na tworzywa zastępcze.

5. Kontroluj skrupulatnie swoje zapotrzebowania na materiały, ważąc przychodzące i wychodzące ilości materiału, abyś dokładnie wiedział, gdzie jest reszta (różnica) materiału.

6. Przez rozumne zainstalowanie wykrojów wykorzystaj każdy najmniejszy pasek lub kawałek blachy; gdy wykorzystanie to jest niezadawalające, porozum się z konstruktorem, czy niedałoby się tej oszczędności uzyskać, np. przez małą zmianę kształtu lub wymiaru.

7. Przy produkcji narzędzi tnących stosuj tworzywa narzędziowe wysokowartościowe, lecz tylko na te miejsca, w których narzędzia pracują przez cały czas przy pełnym obciążeniu.

8. Brak jest stratą nie tylko pieniędzy lecz także stratą materiału, dlatego należy go podwójnie zwalczać.

9. Zużyte narzędzia, wykonane z drogich tworzyw, powinny być kasowane z podaniem rodzaju tworzywa, z jakiego były wykonane.

Wióry zbieraj według rodzaju materiałów (miedź do miedzi, stal szybkotnącą do stali szybkotnącej itd.).

10. Nie pal ropy tam, gdzie masz do dyspozycji węgiel, gaz lub prąd elektryczny. Dobieraj dobrze odpowiednie gatunki smarów i używaj je oszczędnie.

Oleje stare, zużyte zbieraj i odnawiaj. Na krótkich przestrzeniach nie używaj środków komunikacyjnych o napędzie benzynowym (np. samochodów ciężarowych), lecz o napędzie gazowym, parowym albo akumulatorowym.

11. W przemyśle buduj jak najwięcej z betonu, a jak najmniej ze stali. Tam gdzie musi być użyty metal, stosuj stal zamiast żeliwa, bo przez to zyskasz na wadze około połowę materiału.

12. Pisz mniej, a przez to będzie mniejsze zużycie papieru, — to również należy do oszczędności.

623. 454. 253

CZESŁAW OSTASZKIEWICZ

ZASADY KONSTRUKCJI I DOKŁADNOŚĆ DZIAŁANIA ZAPALNIKÓW MECHANICZNYCH (ZEGAROWYCH)

Zadaniem niniejszego artykułu jest przedstawić w ogólnych zarysach zasadnicze cechy charakterystyczne rozwiązań konstrukcyjnych zapalników mechanicznych (zegarowych) oraz scharakteryzować ich dokładność działania w porównaniu z tym samym typem zapalników czasowych lub o działaniu podwójnym, lecz pirotechnicznych.

Pierwsze znane prace nad zapalnikami mechanicznymi były przeprowadzone w Szwajcarii i Niemczech już w roku 1840. Ze względu jednak na wielkie trudności, napotykane przy rozwiązaniu tego zawiłego zagadnienia, jego realizację w praktyce osiągnięto dopiero w roku 1915. W tym roku artyleria niemiecka posługiwała się po raz pierwszy tego typu zapalnikami i uzyskiwała w czasie strzelania niezłe wyniki.

Pomimo że zapalnik mechaniczny posiada bardzo dużo zalet, które przedstawię w końcu niniejszego artykułu, — w większości państw odnoszą się do mechanicznych zapalników z nieufnością, ze względu na złożoną i delikatną konstrukcję wszelkich mechanizmów zegarowych. Jednakże we wszystkich większych i uprzemysłowionych państwach przeprowadzane są wszechstronne studia nad rozwiązaniem tego zagadnienia i w chwili obecnej niektóre konstrukcje zapalników mechanicznych dają zupełnie zadowalające wyniki w czasie masowych prób strzelaniem.

Studia i badania oraz masowe próby, przeprowadzane w różnych państwach w celu ustalenia konstrukcji zapalnika mechanicznego, można podzielić na cztery zasadnicze kierunki:

I. — rozwiązać zapalnik mechaniczny, bezsprężynowy, którego mechanizm poruszany byłby na podstawie siły odśrodkowej;

II. — rozwiązać zapalnik mechaniczny, w którym sprężyna na-

pędowa mechanizmu jest w stanie wolnym i napina się dopiero w chwili strzału, pod wpływem przyśpieszeń osiowych;

III. — rozwiązać zapalnik, w którym sprężyna napędowa mechanizmu zapalnika jest na pół napięta i ostatecznie napina się ją w czasie nastawiania zapalnika na określony czas działania;

IV. — rozwiązać zapalnik mechaniczny, w którym sprężyna napędowa mechanizmu jest stale napięta.

Opiszę pokrótce te cztery zasadnicze konstrukcje.

1. *Zapalnik bezsprężynowy.*

Nad rozwiązaniem bezsprężynowego zapalnika mechanicznego pracują w Niemczech, we Francji i w Szwajcarii.

Bezsprężynowe zapalniki mechaniczne są stosunkowo prostej konstrukcji, lecz wg opinii francuskiej posiadają one tę wadę, że działają poprawnie jedynie tylko wtedy, gdy szybkości obrotowe pocisków, do których zostały zastosowane, wynoszą od 10.000 do 20.000 obrotów na minutę.

Również zapalniki tej konstrukcji posiadają przeważnie bardzo delikatne kółka zębate przekładni oraz czopy i ośki bardzo małej średnicy, dające słabe zabezpieczenie podczas strzału.

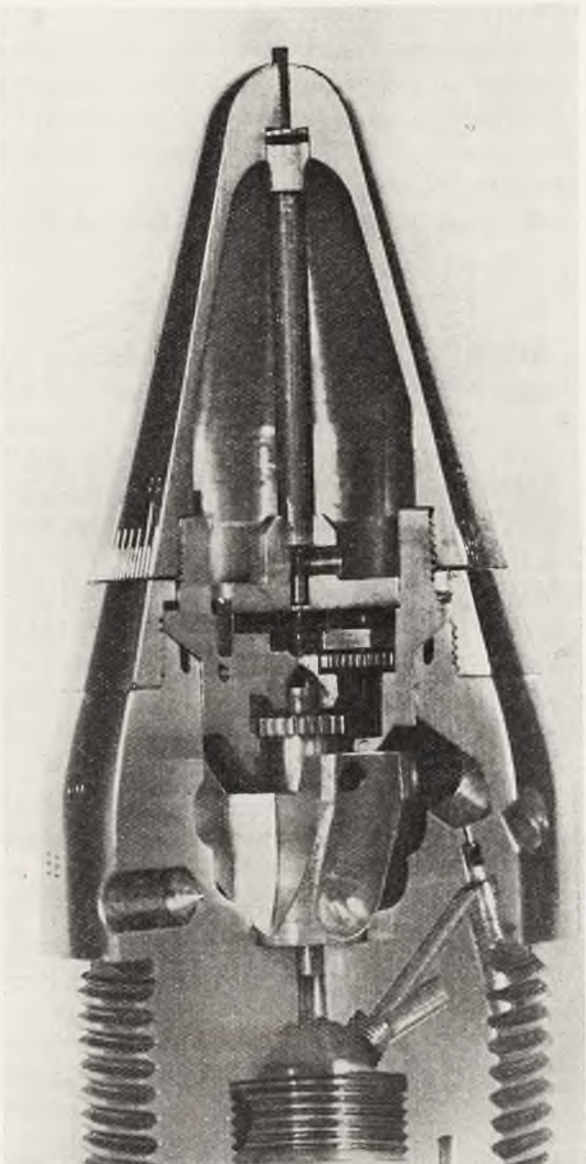
Ze względu na charakter siły napędowej, także wg opinii francuskiej, dokładność ich działania w wielu wypadkach jest niedostateczna, zwłaszcza dla ognia przeciwlotniczego.

Czy opinia francuska jest słuszna, można jedynie stwierdzić drogą wszechstronnych badań, potwierdzonych próbą strzelaniem tej konstrukcji zapalników.

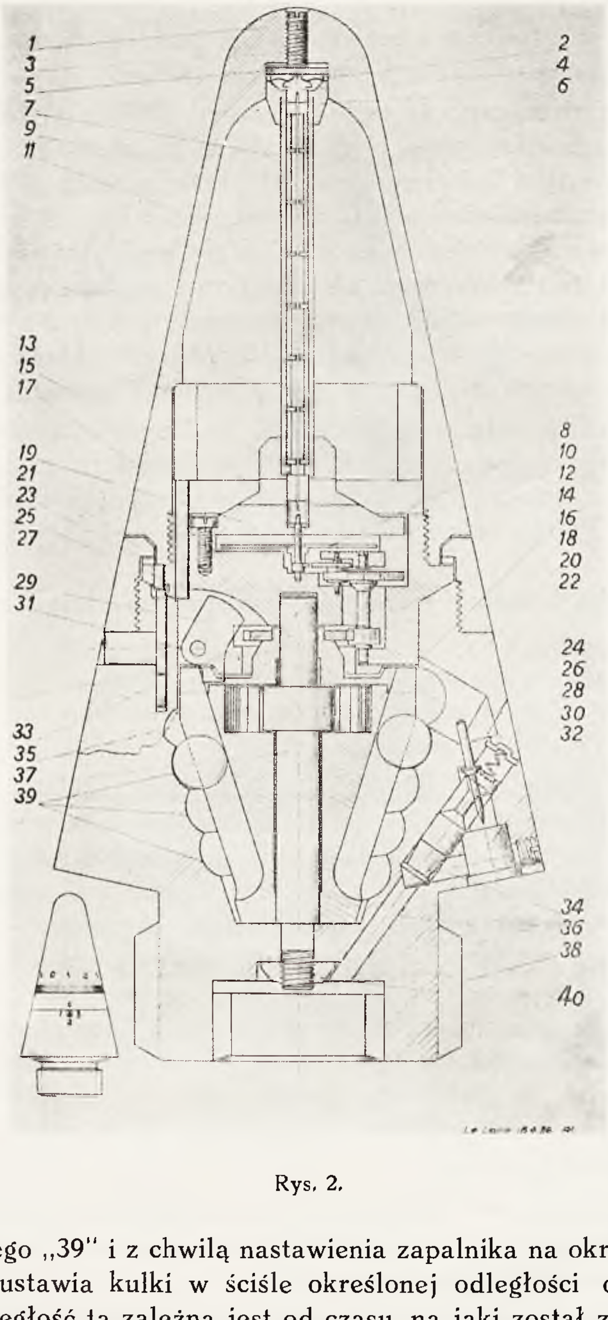
Typowym zapalnikiem mechanicznym bezsprężynowym jest zapalnik pierwotnej konstrukcji firmy szwajcarskiej Perrenoud-Aragone (rys. 1). W ostatniej konstrukcji zapalnika firma Perrenoud dodała sprężynę napędową, napinaną w chwili nastawiania zapalnika na określony czas działania (rys. 2).

Opiszę działanie zapalnika bezsprężynowego, opierając się na ostatniej konstrukcji zapalnika tej firmy (rys. 2).

Przed strzałem nastawia się zapalnik na żądany czas przez pokręcenie główki zapalnika „1" w stosunku do kadłuba zapalnika „20". Pokręcając główką zapalnika obraca się również cały mechanizm zapalnika łącznie z obsadą kulek „16". Oś obsady kulek „37" jest nieruchoma, gdyż jest związana z kadłubem przy pomocy nakrętki „40". Obsada kulek zabiera ze sobą dwie kulki „18" i toczy je wzdłuż row-



Rys. 1.



Rys. 2.

ka śrubowego „39" i z chwilą nastawienia zapalnika na określony czas działania ustawia kulki w ściśle określonej odległości od gniazda „22". Odległość ta zależna jest od czasu, na jaki został zapalnik nastawiony. O działaniu zapalnika decyduje tylko jedna kulka, poło-

żona najbliżej gniazda „22". W gnieździe „22" jest obsadzona iglica „24" i jest zabezpieczona bezwładnikiem odśrodkowym „30". Pod iglicą jest umieszczona spłonka zapalająca „32".

Należy zaznaczyć, że rowek śrubowy „39" jest wykonany na ścianie gniazda stożkowego o dużej zbieżności stożka. Obsada kulek jest zakończona kołem zębatym „33", które zazębia się z przekładnią kół zębatych. Ostatnie koło zębate przekładni jest zamocowane na jednej osi z kołem wychwytowym. Koło wychwytowe zazębia się z kotwicą, która jest zespolona na jednej osi z regulatorem (wahaczem „8"). Do osi obrotu regulatora przymocowany jest drut o ściśle określonym współczynniku sprężystości. Drut ten „9", który spełnia rolę włosa mechanizmu zegarowego, jest ochroniony specjalną rurką.

W chwili strzału bezwładnik „13" pod wpływem siły bezwładności osiowej unieruchamia główkę „1" w stosunku do kadłuba „20" przy pomocy trzpieni „17" i uniemożliwia rozregulowanie nastawy zapalnika. Równocześnie następuje odbezpieczenie mechanizmu zapalnika.

Na kulki w okresie ruchu pocisku w lufie działają 3 siły, a mianowicie:

P_1 — m.a. — siła bezwładności osiowej,
P_2 — $m\,r\,\varepsilon$ — siła bezwładności obrotowej,
P_3 — $m\,r\,\omega^2$ — siła odśrodkowa.

Po ustaleniu oddziaływania na kulki i na regulator siły bezwładności osiowej, pod wpływem siły bezwładności kątowej następuje uruchomienie mechanizmu zapalnika. Siłą natomiast motoryczną, napędzającą mechanizm zapalnika, jest wypadkowa z sił odśrodkowych kulek. W nowej konstrukcji zapalnika firmy Perrenoud — Aragone, siłą napędową mechanizmu jest siła odśrodkowa kulek i siła sprężyny „35".

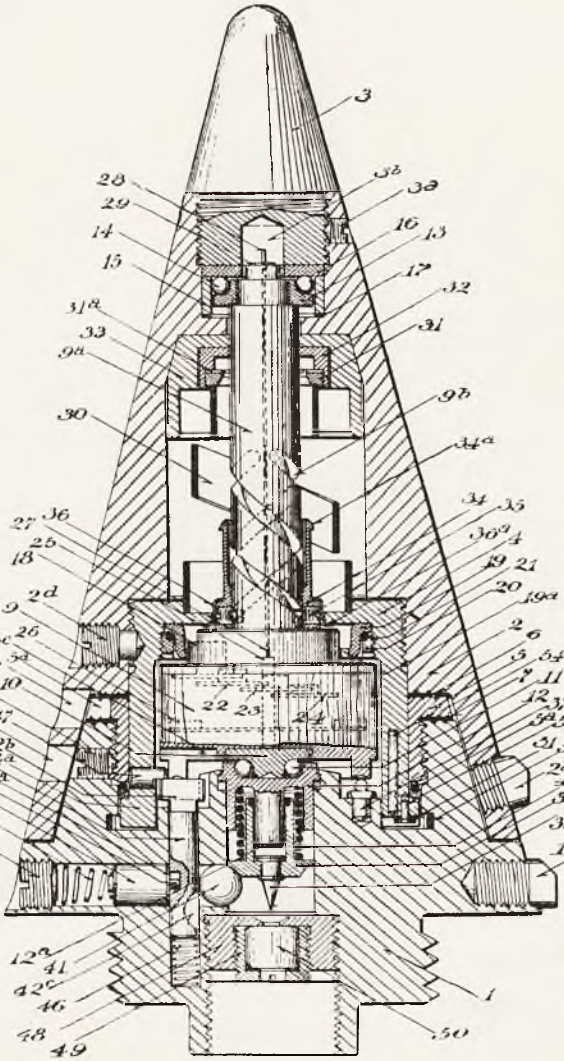
W czasie lotu pocisku szybkość kątowa „ω" maleje w nieznacznym stopniu, natomiast „r" wzrasta, więc siła motoryczna, napędzająca mechanizm w czasie lotu pocisku, jest w przybliżeniu stała. Z chwilą gdy najwyżej położona kulka dojdzie do gniazda „22", następuje działanie zapalnika.

2) Zapalnik mechaniczny, w którym sprężyna napędowa mechanizmu jest w stanie wolnym i napina się dopiero w chwili strzału pod wpływem przyśpieszeń osiowych.

Do tego typu zapalników mechanicznych należy zaliczyć zapalnik J. L. 935, konstrukcji francuskiego inżyniera Jana Lasserre'a.

Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawione są trzy fazy działania tego zapalnika.

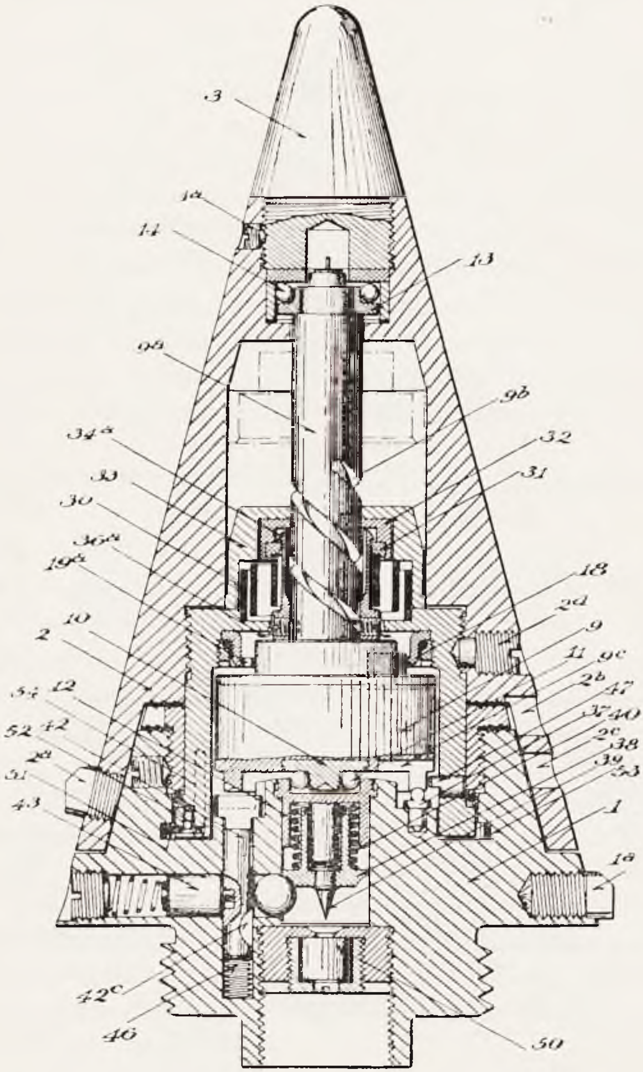
Rys. 3. przedstawia zapalnik w takim stanie, jak jest przechowywany w magazynach.



Rys. 3.

Rys. 4. przedstawia zapalnik po nastawieniu na pół obrotu i po napięciu sprężyny w chwili strzału pod wpływem przyśpieszeń osiowych.

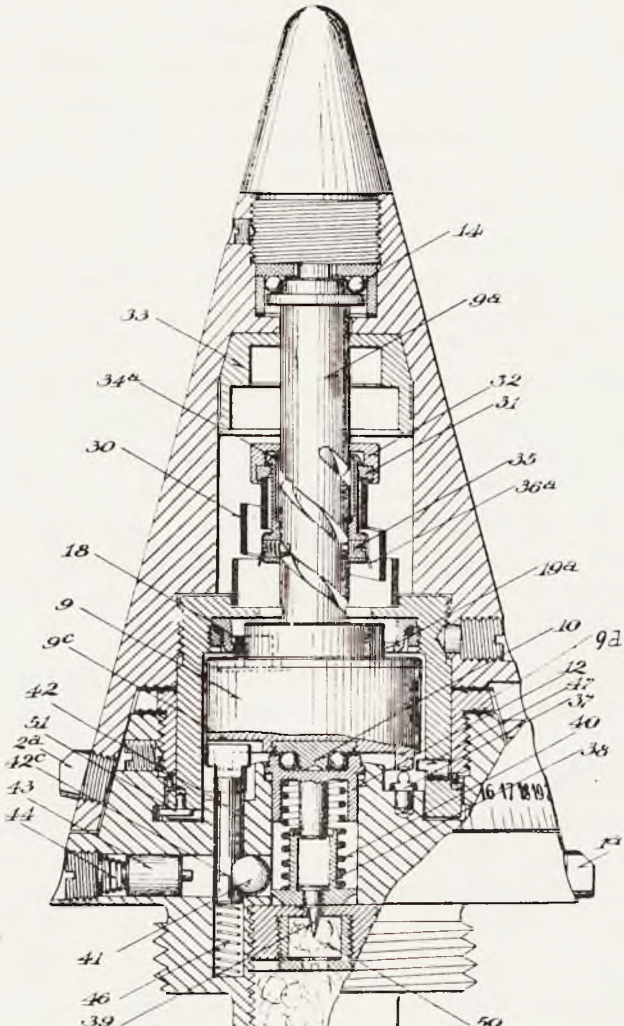
Rys. 5. przedstawia zapalnik w chwili działania. Działanie tego zapalnika jest następujące: przed strzałem nastawia się zapalnik przy pomocy nastawnicy lub ręcznie na żądany czas przez pokręcenie



Rys. 4.

główki zapalnika „2" (rys. 4). W stosunku do kadłuba zapalnika „1". Podkręcając główką zapalnika obraca się również cały mechanizm zapalnika w łożysku kulkowym „10". Obrotowi podlega więc

trzpień „9a", bęben z mechanizmem zegarowym „9" i pierścień osadczy „4". W czasie tego obrotu kołek „47" zwalnia trzpień „42", a wykrój „9c" w bębnie mechanizmu zegarowego ustawia się w pewnym



Rys. 5.

kątowym położeniu w stosunku do trzpienia „42". Im większy będzie kąt nastawienia, tym większy będzie czas działania zapalnika Trzpień „42" pozostaje nadal zabezpieczony przez rygiel odśrodkowy „43" oraz przez występ w bębnie mechanizmu zegarowego.

W chwili strzału bezwładnik „33" łącznie z zatrzaskiem „31a" blokuje sprężynę „30" pod wpływem siły bezwładności osiowej i zatrzask zazębia się z zaczepami tulei „34".

Tuleja „34" zaopatrzona jest w dwa kołki „35", które wchodzą w śrubowe rowki trzpienia „9b". Z chwilą ustania sił bezwładności osiowej sprężyna zaczyna rozprężać się i dzięki temu, że tuleja „34" ma jedynie ruch postępowy, wypadkowa siły sprężyny nadaje ruch obrotowy bębnowi mechanizmu zegarowego w łożyskach kulkowych „10" i „13", lecz za pośrednictwem przekładni kół zębatych „18", „19a", „22", „23" i „24".

Mechanizm wyposażony jest również w koło wychwytowe, kotwicę i regulator „26". Ten ostatni podwieszony jest na drucie „27", który pracuje na skręcenie i powoduje oscylowanie regulatora (wahacza).

Z chwilą gdy mechanizm zaczyna pracować, wykrój „9c" zbliża się do trzpienia „42". Równocześnie rygiel „43" pod wpływem siły odśrodkowej odbezpiecza trzpień „42" i gdy wykrój „9c" stanie nad trzpieniem „42", sprężyna „46" podnosi trzpień, kulka „41" zwalnia iglicę „38" i następuje działanie zapalnika.

Maksymalne odchylenie wykroju „9c" w stosunku do trzpienia „42" wynosi około 350^0, co odpowiada około 40 sek. czasu działania zapalnika.

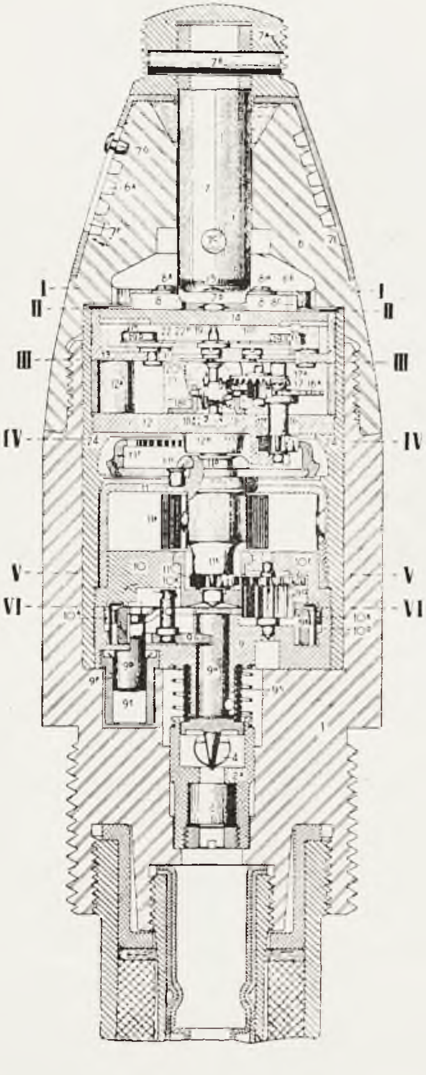
3. Zapalnik, w którym sprężyna napędowa jest na pół napięta i ostatecznie napina się ją w czasie nastawiania zapalnika na określony czas działania.

Ten typ konstrukcji opracowała i wykonuje firma „Tavaro". Jest to zapalnik o działaniu podwójnym, o czasie działania mechanizmu czasowego do 75". Nastawia się ten zapalnik ręcznie lub przy pomocy nastawnicy. Mechanizm jego przedstawiony jest na rys. 6, 7 i 8.

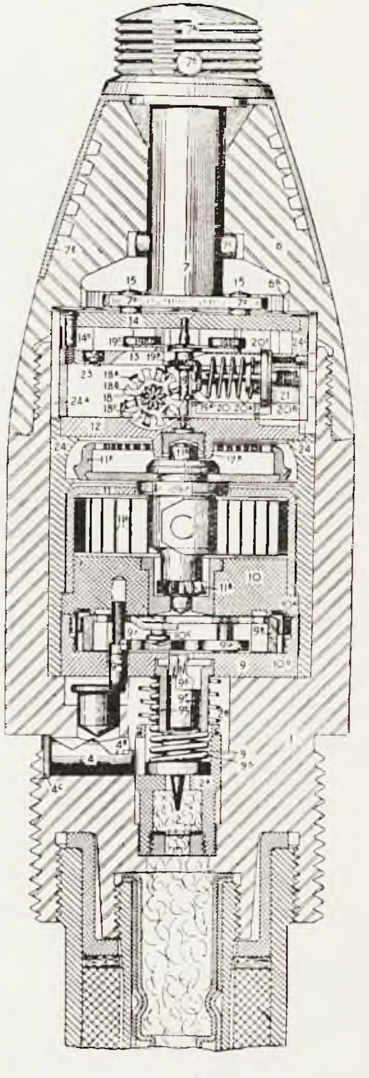
Działanie zapalnika jest następujące:

Przy pomocy trzpienia „7" obraca się obsadę regulatora „12", z której wystaje koło zębate „16". Koło to zatacza krąg, a ponieważ jest zazębione z kołem „11F", które posiada wewnętrzne uzębienie, więc to ostatnie obraca się i napina sprężynę „11A" na ośce „11B". Równocześnie przez przekładnię kół zębatych „11C", „10E" i „90" obraca się koło z wewnętrznym uzębieniem „9B" i ustawia wykrój „9Q" (Rys. 8) w pewnym kątowym położeniu w stosunku do zapadki „9G", która zabezpiecza iglicę „9H" (Rys. 6).

W chwili strzału, pod wpływem siły odśrodkowej, zostaje odryglowany regulator oraz unieruchomiona obsada regulatora w stosunku do kadłuba przy pomocy bezwładników odśrodkowych „8"



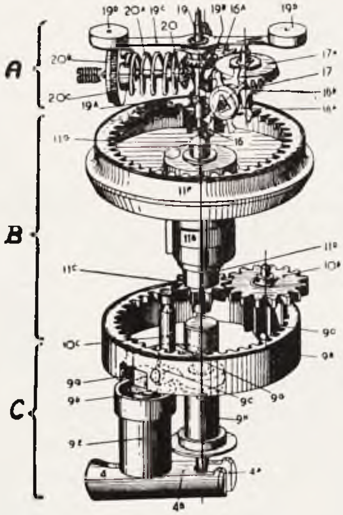
Rys. 6.



Rys. 7.

(Rys. 6). Zostaje również odbezpieczona zapadka „9G" przez bezwładnik „9D" jak również zostaje odbezpieczona iglica przez bezwładnik odśrodkowy „4" (Rys. 6 i 7). Iglica podtrzymywana jest jedynie

przez zapadkę „9G". Równocześnie cały mechanizm zegarowy jest w ruchu pod wpływem sprężyny napędowej i z chwilą, gdy wykrój „9Q" stanie naprzeciw zapadki „9G", następuje działanie zapalnika.

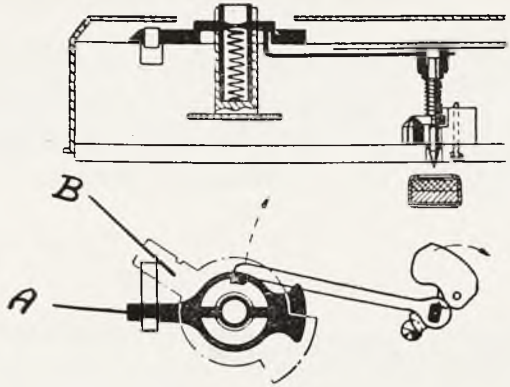


Rys. 8.

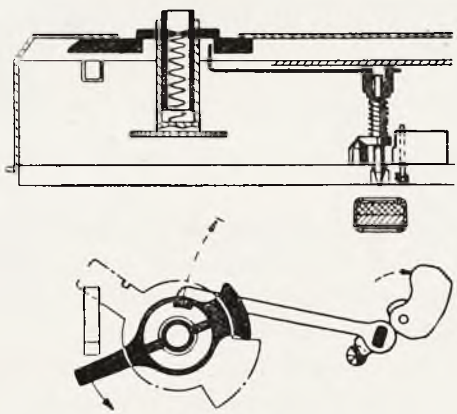
4. Zapalnik, w którym sprężyna napędowa jest stale napięta.

Do tego typu zapalników należy zaliczyć zapalnik mechaniczny konstrukcji i wyrobu f. Bofors. Zapalnik ten nastawia się na określony czas działania przy pomocy nastawnicy lub przy pomocy klucza z podziałką, gdyż na zapalniku skali czasu nie ma. Dokładnych rysunków tego zapalnika nie podaję, gdyż konstrukcja zapalników „Bofors" nic ciekawego nie wnosi. Natomiast na rysunku 9, 10 i 11 podane jest schematyczne działanie zapalnika. Rys. 9 przedstawia zapalnik przed strzałem. Gdy zapalnik zostanie nastawiony na określony czas działania, wówczas część składowa „A" jest nastawiona w stosunku do wykroju „B" w pewnym kątowym położeniu. Rys. 10 przedstawia zapalnik w chwili strzału. Część składowa „A" zapalnika została odbezpieczona i obraca się pod wpływem sprężyny napędowej osi w kierunku jak wskazuje strzałka na rysunku. Rys. 11 przedstawia schematycznie mechanizm zapalnika w chwili jego działania.

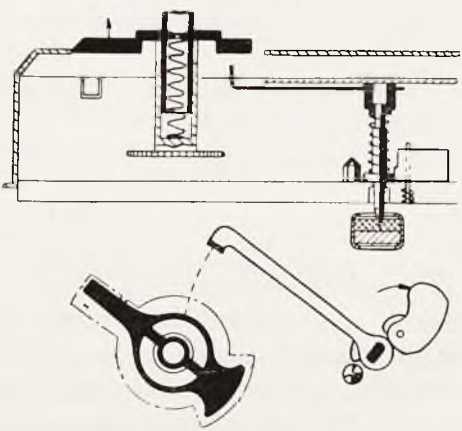
Po zapoznaniu się z powyżej przytoczonymi konstrukcjami zapalników, widzimy, że wszystkie te cztery rodzaje konstrukcyj posiadają dużo cech podobnych. Przede wszystkim każdy zapalnik mecha-



Rys. 9.



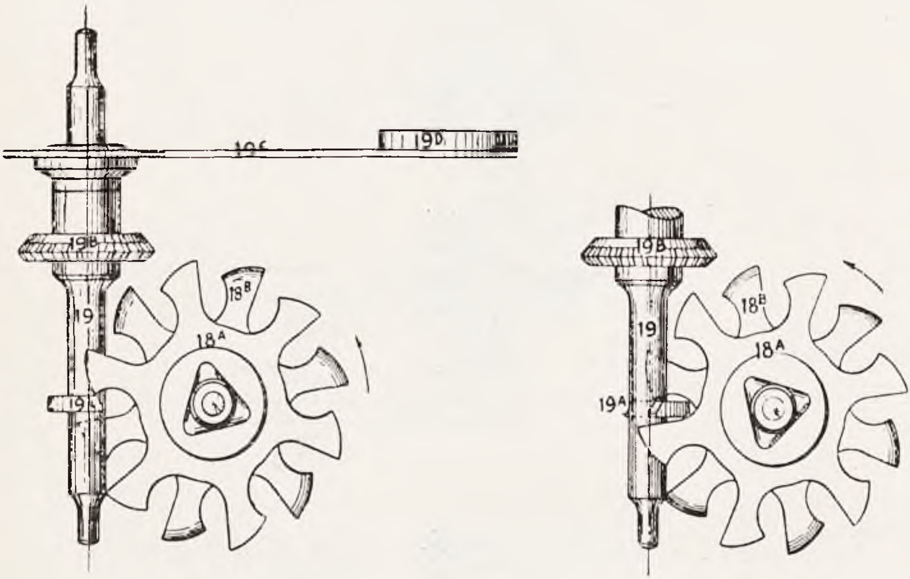
Rys. 10.



Rys. 11.

niczny wyposażony jest w trzy zasadnicze zespoły mechanizmu, a mianowicie:

1) W zespół regulujący czas działania zapalnika, który składa się z regulatora „19D" (wahacza), z kotwicy „19A" i z koła wychwytowego „18A" i „18B" oraz że sprężyny „20A" napędzające regulator (wahacz). (Rys. 8 zespół „A" i rys. 12).



Rys. 12.

2) W zespół napędzający, który składa się ze sprężyny napędowej bądź mechanizmu odśrodkowego i z przekładni kół zębatych. (Rys. 8 zespół „B").

3) W zespół wyzwalająco-odpalający, który składa się z iglicy, sprężyny itp. części. (Rys. 8 zespół „C").

Omówię, jakim wymaganiom każdy z poszczególnych zespołów powinien odpowiadać.

Zespół regulujący czas działania.

Przede wszystkim regulator (wahacz) powinien być bezwzględnie umieszczony w osi symetrii zapalnika, powinien posiadać symetryczne rozmieszczenie masy bezwładników, natomiast koło wychwytowe i kotwica powinny być tak zaprojektowane ,aby pozwalały na duże wychylenia regulatora (wahacza).

Aby móc regulować oscylacje regulatora (wahacza) mechanizm powinien być zaopatrzony w urządzenie, któreby pozwalało na regulowanie siły sprężyny lub regulowanie odległości środków ciężkości bezwładników regulatora od osi jego obrotu.

Sprężyna regulatora powinna być tak umieszczona w zapalniku, aby możliwie jak najmniej reagowała na siłę odśrodkową ruchu wirowego pocisku.

Zespół napędzający.

Sprężyna napędowa powinna być naciągana w czasie nastawiania zapalnika, bądź w chwili strzału, natomiast osie kół zębatych powinny być umieszczone równolegle do osi symetrii zapalnika, aby w chwili strzału pod wpływem sił bezwładności osiowej pracowały na ściskanie, nigdy natomiast na gięcie.

Zespół wyzwalająco-odpalający.

Powinien zapewnić całkowite bezpieczeństwo w czasie transportu, magazynowania i strzelania.

We Francji dla mechanicznych zapalników, które są poddawane próbom, stawia się następujące wymagania:

1) Prosta i trwała konstrukcja, t. zn. aby było możliwie jak najmniej części składowych i możliwie prostych w wyrobie.

2) Ograniczenie do minimum wymiarów i ciężaru zapalnika. Spotyka się zapalniki, których ciężar nie przekracza 300 g.

3) Zupełne bezpieczeństwo podczas manipulacji i transportu.

4) Możliwość „nieskończenie" długiego magazynowania bez ujemnego wpływu na zapalnik.

5) Doskonała szczelność.

6) Możliwość uniwersalnego użycia zapalników, t. zn. możliwość użycia do różnego sprzętu artyleryjskiego, w którym przyśpieszenia osiowe wynosiłyby min. 15.000 m/sek^2, maks. 500.000 m/sek^2, i w których szybkość obrotowa wynosiłaby od 15.000 obr/min. do 40.000 obr/min.

7) *Dokładne działanie zapalnika.* Średnie uchylenie powinno być od 0,06 do 0,08.

8) Zgodność czasu zarejestrowanego w czasie strzelania z czasem, na który został nastawiony zapalnik.

9) Szybkość nastawienia zapalnika.

10) Nastawienie ciągłe we wszystkich kierunkach.

Regularność działania zapalników mechanicznych.

Próbom strzelaniem poddawano zapalniki „Tavaro", „Bofors" i „Perrenoud" porównawczo z zapalnikami pirotechnicznymi, rurkowymi typu francuskiego. Strzelanie zapalników przeprowadzano przy różnych nastawach mechanizmów czasowych. Wyniki ostatnich strzelań są następujące:

1) *Zapalnik „Tovaro" — strzelanie przeprowadzano ze 105 mm arm. wz. 29.*

a) Przy nastawie mechanizmu czasowego na 15″ otrzymano:

Średni czas przelotu — 15,14″
Uchylenie średnie czasu — 0,09″
Uchylenie prawdopodobne — 0,08″
△ max. (maksymalna różnica zmierzonych czasów) — 0,67″

b) Przy nastawie mechanizmu czasowego na 35″ otrzymano:

Średni czas przelotu — 35,35″
Uchylenie średnie czasu — 0,37″
Uchylenie prawdopodobne — 0,31″
△ max. — 2,45″

c) Przy nastawie mechanizmu czasowego na 53,5″ otrzymano:

Średni czas przelotu — 53,71″
Uchylenie średnie — 0,28″
Uchylenie prawdopodobne — 0,24″
△ max. — 1,61″

2) *Zapalnik „Bofors" — strzelanie przeprowadzono ze 105 mm arm. wz. 29.*

W czasie tego strzelania stwierdzono, że zapalniki „Bofors" działają nienagannie przy nastawieniu na różne czasy, lecz nie dłuższe niż 28″. Przy nastawie większej niż 28″ zapalniki te bardzo nieregularnie działają.

a) Przy nastawie mechanizmu czasowego na 10″ otrzymano:

Średni czas przelotu — 9,84″
Uchylenie średnie czasu — 0,39″
Uchylenie prawdopodobne czasu — 0,033″
△ max. (maksymal. różnica zmierzonych czasów) 0,22″

b) Przy nastawie mechanizmu czasowego na 20″ otrzymano:

Średni czas przelotu — 19,77″
Uchylenie średnie czasu — 0,059″
Uchylenie prawdopodobne — 0,05″
△ max. — 0,25″

c) Przy nastawie mechanizmu czasowego na 28″ otrzymano:

Średni czas przelotu	—	27,59″
Uchylenie średnie czasu	—	0,1″
Uchylenie prawdopodobne	—	0,085″
△ max.	—	0,45″

3) *Zapalnik „Perrenoud" — strzelano z 75 mm armaty wz. 22/24.*

Zapalniki te strzelano jedynie przy nastawie 20″ i otrzymano następujące wyniki:

Średni czas przelotu	—	20,26″
Uchylenie średnie czasu	—	0,055″
Uchylenie prawdopodobne	—	0,046″
△ max.	—	0,23″

Przy porównaniu natomiast otrzymanych wyników ze strzelań zapalników mechanicznych z pirotechnicznymi, widać pewną przewagę, pod względem regularności działania, zapalników mechanicznych „Tavaro" nad zapalnikami pirotechnicznymi L. D. wz. 17, gdyż:

	„Tavaro" przy nastawie na 53,5″	L.D. wz. 17 przy nastawie na 42″
Średni czas	53,71″	53,65″
Uchylenie średn.	0,28″	0,4″
Uchylenie prawdopodobn.	0,24″	0,34″
△ max.	1,61″	1,99″

Według obowiązujących warunków technicznych średnie uchylenie czasu dla zap. pirotechn. powinno być mniejsze albo równe: $\frac{1,5}{100}$ T, więc strzelając przy nastawie na 20″ średnie uchylenie powinno być ≦ 0,3″, a przy nastawie na 53,5″ średnie uchylenie ≦ 0,8″.

Z otrzymanych wyników widać natomiast, że wartości średnich uchyleń, uzyskane w czasie strzelań zapalników mechanicznych a również i zapalników pirotechnicznych, są grubo niższe niż wartości dopuszczone warunkami technicznymi na zapalniki pirotechniczne.

Z wyników strzelań widać również, że przyszłość należy niewątpliwie do zapalników zegarowych, gdyż zapalniki ze ścieżką prochową nie są w możności zapewnić regularności funkcjonowania, wymaganej w dobie obecnej. Czas spalania się ścieżki prochowej zależy od szeregu czyników, a w pierwszym rzędzie od temperatury i ciśnienia barometrycznego. Na skutek nieregularności spalania się, rozrzut czasu spalania się przy powiększeniu czasu funkcjonowania zapalnika

wzrasta bardzo gwałtownie, to też zapalniki ze ścieżką prochową mogą spełniać swoje zadanie tylko na małych i średnich odległościach.

W działach dalekonośnych zapalniki ze ścieżką prochową mogą być użyte na większych odległościach wyłącznie do wstrzeliwania się metodą wysokich rozprysków, natomiast zupełnie się nie nadają do skutecznego ognia rozpryskowego na większe odległości.

Jeszcze gorzej przedstawia się sprawa w artylerii przeciwlotniczej, gdzie wynik strzelania uzależniony jest w bardzo poważnym stopniu od regularności funkcjonowania zapalnika.

W zapalnikach zegarowych warunki atmosferyczne nie wywierają żadnego wpływu i zapalniki te, jak wykazuje dotychczasowe doświadczenie, mogą zapewnić w wysokim stopniu regularność funkcjonowania.

Z punktu widzenia wyrobu zapalnik mechaniczny ma również przewagę nad pirotechnicznym. Wiemy, że nowoczesne zapalniki czasowe posiadają skalę czasu, która musi być uzgodniona ze skalą nastawnicy.

W zapalnikach ścieżkowych zaprasowuje się proch o pewnej żywości i przy takim ciśnieniu, aby czas spalania ścieżki odpowiadał skali naciętej na zapalniku. Uzyskanie regularności działania zapalników jest b. trudne, gdyż nawet jedna partia prochu niejednokrotnie daje dość znaczne wahania w czasie spalania się, nawet przy idealnie jednakowych warunkach prasowania. Poza tym możność kontroli czasu działania przy wyrobie zapalników pirotechnicznych jest b. ograniczona, gdyż możemy tylko znikomy procent zapalników z partii poddawać kontroli ich działania drogą spalania na aparacie wirowym i strzelania. Inaczej zupełnie przedstawia się sprawa przy wyrobie zapalników mechanicznych. Wiemy, że na czas działania w mechanizmie zegarowym ma wpływ siła sprężyny napędowej, przekładnia kół zębatych i regulator. Siła sprężyny w czasie wyrobu waha się w stosunkowo niedużej granicy i może być w 100% sprawdzana, przekładnia kół zębatych jest stała, pozostaje więc jedynie regulator, którego działanie można również poddawać 100% kontroli. Stąd widać, że uzyskanie regularnego działania mechanizmu zegarowego jest zawsze łatwiejsze niż mechanizmu pirotechnicznego.

Przy strzelaniu z nowoczesnych dział przy dużej szybkości początkowej np. $V_0 = 900$ m/sek, $V_{śr} = \sim 500$/sek., rozrzut czasu działania zapalnika ma ogromny wpływ na efekt strzelania. Strzelamy np. partią zapalników pirotechnicznych, której średnie uchylenie wynosi

0,4″, a △ max. 2″, wówczas przy szybkości średniej 500 m/sek. na pewnej odległości otrzymamy rozrzut na przestrzeni 1000 m, więc w takich warunkach nie może być mowy o skutecznym ogniu rozpryskowym.

Zapotrzebowanie zapalników czasowych i zapalników o działaniu podwójnym w dobie obecnej jest znaczne i wynosi przeciętnie jeśli weźmiemy pod uwagę poglądy w różnych wojskach współczesnych, około 25% ogólnego zapotrzebowania zapalników artyleryjskich. Biorąc to pod uwagę, możemy stwierdzić, że każdy wysiłek włożony w uruchomienie produkcji ich w kraju, opłaci się sowicie w przyszłości.

662. 237.

T. DOMAŃSKI i K. MIESZKIS.

O WŁASNOŚCIACH WYBUCHOWYCH SZEŚCIONITROOKSANILIDU

Materiały wybuchowe — nitrowe pochodne alifatyczne oksamidu — doczekały się już bogatej literatury. Wielu autorów rokuje im bardzo poważne nadzieje na przyszłość. O wiele mniej danych spotykamy o sześcionitrooksanilidzie, produkcie nitracji oksanilidu, aromatycznej pochodnej amidu kwasu szczawiowego.

Sześcionitrooksanilid otrzymany został i opisany po raz pierwszy przez Mixtera i Waltera[1]) oraz Perkina[2]). Autorowie ci otrzymali sześcionitrooksanilid bądź przez bezpośrednie nitrowanie oksanilidu mieszaniną nitrującą (M. i W.), bądź też przez nitrowanie w dwóch stadiach, przy czym produktem pośrednim był czteronitrooksanilid (P.).

Sześcionitrooksanilid jako materiał wybuchowy przytaczany już był kilkakrotnie, jednakże nigdzie nie spotykamy bliższych danych o jego własnościach wybuchowych[3]). Z analizy wzoru wynikałoby, że związek ten posiadać będzie własności silnego materiału wybuchowego; jego bilans tlenowy przedstawia się bowiem korzystniej niż trotylu. Dla całkowitego spalenia 1 g trotylu potrzeba 0,74 g tlenu, dla sześcionitrooksanilidu — 0,532 g.

Sześcionitrooksanilid otrzymano przez nitrowanie oksanilidu według Perkina. Produkt nitrowania był kilkakrotnie przemyty wodą, słabym roztworem sody i ponownie wodą. Wydajność bliska teoretycznej. Po wysuszeniu otrzymaliśmy drobno krystaliczny proszek o słabo żółtym zabarwieniu. W kapilarze temperatura początku rozkładu 255^0 C, temp. topn. częściowo rozłożonego produktu 269 — 298^0 (M. i W. l. c. podają 300^0 C).

---

[1]) Mixter i Walter Am. 9. 256.

[2]) Perkin Soc. 61. 462.

[3]) B. Oddo Annali Chim. Appl. 11. 165 — 98 — Febr. 1919, F. P. 391 106.

Oksanilid do nitracji przygotowany został z bezpośredniej kondensacji aniliny z bezwodnym kw. szczawiowym. Stosowano dziesięciokrotną ilość aniliny w stosunku do kwasu. Reakcję prowadzono w temp. 145—150°. Po ostudzeniu wykrystalizowany oksanilid odsączono, a nadmiar aniliny użyto ponownie do przerobu. Krystaliczny produkt, po przemyciu alkoholem, wykazywał dostateczną czystość (temp. topn. 247 — 248° C). Wydajność reakcji 80%.

Z otrzymanym sześcionitrooksanilidem przeprowadzono następujące próby strzelnicze:

Blok Trauzla — 250 cm^3.

Kafarek (2 kg) — 45 cm.

Temperatura wyfuknięcia: produkt ogrzano do 330°, zaczął się on rozkładać przy 255°, nieznacznie sublimował, wyfuknięcia nie dał.

Prędkość detonacji w m/sek.

gęstość	Sześcionitrooksanilid
0,5	3400
0,8 — 1,0	5100 (+ 2% dwunitrotoluenu)
1,1 — 1,25	5500 "
1,47	6800 "

Jak widzimy z zestawienia, sześcionitrooksanilid posiada dużą prędkość detonacji oraz znaczną stabilność. W porównaniu z trotylem jest on jednak od niego raczej słabszy. Również silniejszymi są pochodne aniliny jak tetryl i czteronitroanilina, jednakże produkcja sześcionitrooksanilidu jest dużo prostsza.

W czasie badań własności wybuchowych sześcionitrooksanilidu, zwrócono uwagę na możliwość otrzymania z oksanilidu silniejszego materiału wybuchowego, posiadającego osiem grup nitrowych. Teoretycznie mogą istnieć dwa zasadnicze izomery: jeden z sześciu grupami nitrowymi w pierścieniach, a z siódmą i ósmą przy azotach, drugi — z wszystkimi grupami nitrowymi w pierścieniach. Związek taki mógłby mieć znacznie lepsze własności wybuchowe niż sześcionitrooksanilid, a nawet tetryl czy czteronitroanilina, posiadałby bowiem w porównaniu z tymi związkami najkorzystniejszy bilans tlenowy.

Przeprowadzono cały szereg niżej opisanych prób, które jednak rezultatu nie dały.

Otrzymanie ośmionitrooksanilidu przez dalsze nitrowanie sześcionitrooksanilidu nie jest możliwe. Już Perkin (l. c.) zauważył bardzo dużą odporność sześcionitrooksanilidu na działanie mieszaniny nitrującej. W przeprowadzonych próbach sześcionitrooksanilid wytrzymał bez zmiany ogrzewanie w temp. 100° C przez 4 godziny w zalutowanej kolbie z mieszaniną nitrującą (1/1 objętościowo) HNO_3 (1,5 g/cm^3) i oleum 60%.

Dlatego też jako produkty wyjściowe do syntezy ośmionitrooksanilidu użyte zostały: meta dwunitrooksanilid, otrzymany z kondensacji metanitroaniliny i chlorobezwodnika kwasu szczawiowego[1]) oraz dwumetylooksanilid otrzymany z kondensacji monometyloaniliny i chlorobezwodnika kwasu szczawiowego[2]).

Nitrowanie metadwunitrooksanilidu powinno było doprowadzić do 4 grup nitrowych w pierścieniu, analogicznie do reakcji metanitroaniliny, która daje czteronitroanilinę. Przeprowadzono następujące próby nitrowania: 1) mieszaniną nitrującą HNO_3 1,5 i oleum 20% na zimno i gorąco, 2) stosując obok HNO_3, KNO_3, 3) nitrowanie oleum 20% zawierającym 10% P_2O_5. 4) nitrowanie z bezwodnikiem octowym. Wszystkie te próby dały w ostatecznym wyniku sześcionitropochodną.

Nitrowanie dwumetylooksanilidu przeprowadzono wzorując się na reakcji otrzymywania tetrylu, wynikiem jej powinna była być nitroamina $[CO.N.NO_2.C_6H_2(NO_2)_3]_2$. Stosowano HNO_3 1,52 i oleum 20%. Jednakże i tutaj, nawet przy nitrowaniu na gorąco, ośmionitropochodnej nie otrzymano.

Streszczenie.

Zbadano własności wybuchowe sześcionitrooksanilidu, określając wydęcie w bloku Trauzla, szybkość detonacji oraz wytrzymałość na czynniki cieplne i mechaniczne. Przeprowadzono szereg prób syntezy ośmionitrooksanilidu, które nie dały zamierzonych rezultatów.

---

1) Bornwater R. 31. 117.

2) Figee R. 34. 309.

662.237

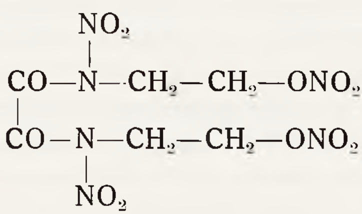
T. DOMAŃSKI i K. MIESZKIS

OTRZYMYWANIE I WŁASNOŚCI WYBUCHOWE DWUAZOTANU DWUNITRO-DWUETANOLO-OKSAMIDU

Część ogólna

Zainteresowanie nitroaminami, pochodnymi kwasu szczawiowego, skierowane jest głównie na dwunitrodwumetylooksamid, ale obok tego obejmuje również i inne związki tego typu.

Takim związkiem jest dwuazotan dwunitro-dwuetanolo-oksamidu, o którym literatura patentowa w ostatnim dziesięcioleciu podaje kilka wzmianek [1]).



Związek ten otrzymuje się przez nitrowanie dwuetanolo-oksamidu. Odznacza się on niską temp. topnienia 88° [2]), dlatego też proponowany jest przede wszystkim jako składnik mieszanin stosowanych w postaci materiałów wybuchowych lanych.

Między innymi patenty przytaczają następujące składy mieszanin:

a) 85% dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu
10% dwunitro-dwumetylo-oksamidu
5% dwumetylo-oksamidu
temp. topnienia 72—73° [3])

---

[1]) DRP 543 174, DRP 568 000; M. S. Fiszbein — Wojennaja Chimja 1933, Nr 6. 3 — 8.

[2]) DRP 543 174, natomiast DRP 568 000 podaje 92°.

[3]) DRP 568 000

b) 80% dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu
20% trotylu
temp. topnienia 55—60° [4])

c) 40% dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu
40% pentrytu
20% trotylu
temp. topnienia 70—80° [5])

Poza tym patenty proponują zastosowanie omawianego nitrozwiązku w mieszaninie z żelatyną wybuchową do spłonek oraz lontów detonacyjnych [6]) i jako składnik do mieszanin służących do napełniania min albo torped. Materiał ten ma również własności żelatynowania nitrocelulozy. Mieszanina o składzie: 40% dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu, 52% nitrocelulozy, 8% centralitu ma mieć własności materiału miotającego [7]).

Poza omówieniem zastosowań nie spotykamy jednak w literaturze szczegółowych danych o własnościach wybuchowych dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu [8]). Z analizy wzoru wynika, że musi to być silny materiał wybuchowy, niewiele ustępujący pentrytowi, a znacznie silniejszy od dwunitro dwumetylo-oksamidu. Dla zupełnego spalenia 1 g dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu potrzeba bowiem 0,1797 g tlenu, podczas gdy odpowiednie liczby dla pentrytu wynoszą 0,1013 a dla dwunitro-dwumetylo-oksamidu 0,3866.

Celem naszej pracy było porównawcze zbadanie metod otrzymywania dwuetanolo-oksamidu, oraz oznaczenie najważniejszych własności wybuchowych dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu.

Część doświadczalna

Dwuetanolo-oksamid otrzymać można w dwojaki sposób:

a) Działaniem etanoloaminy na ester etylowy kwasu szczawiowego [9]). Reakcję estru szczawiowego z etanoloaminą przeprowadzono w roztworze alkoholowym. Wydzielający się osad nierozpuszczalnego etanolooksamidu odsączono i przemyto alkoholem. Otrzymano bezbarwny proszek krystaliczny o temp. topnienia 167—168°. Wydajność 85%.

---

[1]) [5]) [6]) [7]) DRP 543 174.

[8]) [11]) Z oznaczonych wielkości podaje Naum — Z. f. Schiess u. Sprengstoffe 1932, 230 wartość bloku Trauzla na 452 cm oraz Schmidt—Z. f. Schiess u. Sprengstoffe 1934, 262, stałe termochemiczne tego związku.

[9]) Knorr Rössler B. 36. 1279.

b) Przez prażenie obojętnego szczawianu etanoloaminy [10]). Suchy szczawian etanoloaminy otrzymany przez zobojętnienie kwasu szczawiowego etanoloaminą [11]), ogrzewany był w kolbie zanurzonej w łaźni parafinowej o temp. 170°. Po ogrzaniu się zawartości kolby do 145° nastąpiło upłynnienie całej masy z objawami silnego pienienia. Po pewnym czasie pienienie ustało, a temperatura stopu zaczęła się podnosić. Po osiągnięciu 170° przerwano prażenie. Ostudzony stop zakrzepł na brunatną masę o wyraźnej krystalicznej strukturze. Nie zawierał on już szczawianu. W celu oczyszczenia przekrystalizowano ten surowy produkt z alkoholu. Produkt po pierwszej krystalizacji był blado żółty i wykazywał temp. topn. 165—167°. Wydajność wynosiła 85%.

Pomimo małych różnic czystości produktów otrzymanych wyżej opisanymi metodami a) i b) ,wykazały przeprowadzone próby nitracji, że mniejsza czystość metanolooksamidu, otrzymanego z prażenia w niczym nie pogarszała wyników nitrowania w porównaniu z etanoloaksamidem otrzymanym z estru Do naszych celów stosowaliśmy zatem metodę prażenia jako łatwiejszą i tańszą.

W celu znitrowania etanolooksamidu rozpuszczono go w HNO_3 (1,5) a następnie chłodząc dodawano oleum 20%. Po 3 godzinach stania roztwór, z częściowo już wydzielonym produktem nitracji, przelano do dużej ilości zimnej wody. Osad po odstaniu przesączono i przemyto wodą. W celu oczyszczenia dwuazotanu dwunitrodwuetanolo-oksamidu przekrystalizowano go z alkoholu metylowego. Z krystalizacji tej można otrzymać 2 rodzaje kryształów: igły z roztworu nasyconego lub płytki z rozcieńczonego. Temp. topnienia 3-krotnie krystalizowanego produktu 89—90°.

Oczyszczony dwuazotan dwunitro-dwuetanolo-oksamidu wykazywał następujące cechy strzelnicze i wytrzymałościowe:

1) blok Trauzla 455 cm^3 (średnia 3 prób) [12])

2) prędkość detonacji w rurkach papierowych o Ø 10 mm, przy gęstości materiału 0,93 wynosi 5200 m/sek. W tych samych warunkach przy gęstości 1 pentryt wykazał prędkość około 6000 m/sek.

3) kafarek 2 kg.

	temp. topn.	kafarek
surowy prod.	78 — 90°	10 cm
po I krystal.	85 — 90°	20 cm
po III „	89 — 90°	25 cm

[10]) Chancel C. r. 128, 314.

[12]) T. Urbański—Roczniki Chemii XVI, 334 (1936).

4) Temperatura wyfuknięcia 165—172^{0} (początek rozkładu 155—160^{0}).

5) Test Abla. Papierek jednoskrobiowy wykazywał zabarwienie po 27 minutach ogrzewania w temp. 71^{0}.

Przytoczone zestawienie potwierdza przypuszczenie, oparte na bilansie tlenowym, o własnościach wybuchowych dwuazotanu dwunitro-dwuetanolo-oksamidu, podobnie jak i twierdzenie Fiszbeina (l. c) o lepszej od pentrytu wytrzymałości jego na działanie bodźców mechanicznych.

Ciekawą jest rzeczą, że omawiany związek jest izomerem dwunitro-dwuamidu dwuazotanu kwasu winowego, związku otrzymanego przez T. Urbańskiego [12]).

Oba te związki są dwuazotanami dwunitroaminy, jednakże pochodna oksamidu wykazuje dużo silniejsze własności wybuchowe przy jednocześnie dużo większej stałości chemicznej — blok dwunitro-dwumetylo-dwuamidu dwuazotanu kwasu winowego wynosi 390 cm^3, kafarek 5 cm, temp. pobudzenia 114^{0} [12]).

Zagadnienie możliwości produkcyjnej dwuazotanu dwunitrodwuetanolo-oksamidu rozbija się w tej chwili o etanoloaminę nieprodukowaną w kraju. Z chwilą jednak, gdy sprawa ta zostanie rozpoznana pozytywnie w związku z produkcją na większą skalę pochodnych etylenu jak: tlenek etylenu, chlorohydryna etylenu i glikolu, to należy przypuszczać, że koszty otrzymywania dwuazotanu-dwunitro-dwuetanolo-oksamidu przestaną być czynnikiem hamującym w jego stosowaniu.

Streszczenie

Autorowie otrzymali dwuetanolo-oksamid na drodze prażenia szczawianu etanol-aminy i stwierdzili przy tym, że metoda ta góruje nad metodą estrową.

Zbadano własności wybuchowe dwuazotanu-dwunitro-dwuetanolo-oksamidu, określając wydęcie w bloku ołowianym, prędkość detonacji oraz wytrzymałość na czynniki cieplne i mechaniczne.

WIADOMOŚCI Z PRASY OBCEJ

NIEMCY

(*WEHRTECHNISCHE MONATSHEFTE* — VII. 38 r., str. 300).

Armata polowa a lekka haubica polowa — gen. Marx (Feldkanone und leichte Feldhaubitze).

Po wstępie historycznym, omawiającym stosowanie armat i haubic w artylerii polowej lekkiej i ciężkiej od połowy XIX stulecia w Niemczech i we Francji aż do czasów wojny światowej, autor przechodzi do porównania technicznego skuteczności obu tych rodzai dział i rozważa je z różnych punktów widzenia.

Jeżeli chodzi o porównanie dwóch dział, to należy uwzględniać dwie różne rzeczy: działanie pojedynczego pocisku i możliwości użycia działa. To ostatnie zależy od giętkości ognia (toru pocisków), od największej donośności i od ruchliwości działa (szybkość użycia w warunkach bojowych i zdolność pokonywania wszelkich terenów i brodów).

a) *Działanie pojedynczego pocisku.* Zależy ono od wykorzystania pojemności skorupy; w dwóch podobnych geometrycznie pociskach pojemności odnoszą się jak r^3. Np. dla armaty 76 mm i hb 104 mm otrzymujemy stosunek 140,608 : 54,872 = *2,56*. Z tego by wynikało, że pocisk haubicy lekkiej daje 2,5 razy więcej ładunku wewnętrznego, gazów bojowych, odłamków niż pocisk lekkiej armaty. Lecz należy uwzględnić masę pocisków (ognia) i wtedy stosunek wartości amunicji wypadnie inny.

b) Jaszcz armaty lekkiej niemieckiej zawierał (na początku wojny) 88 pocisków, francuski—90 pocisków, niemieckiej haubicy lekkiej—54. Przyjmując tę samą ilość wozów otrzymamy *„wartość" amunicji bateryjnej* jako stosunek $2{,}56 \times 54/88 = 17\,11 = \mathit{1{,}5}$. Stosunek ilości amunicji w przodkach pozostaje ten sam.

c) W pewnych okolicznościach chodzi nie o ilości amunicji dowożone, lecz o skuteczność działania pocisków w ciągu godziny. Z doświadczeń wojny wynika szybkostrzelność dla armaty lekkiej 480 na godzinę (Francuzi liczyli 600), dla haubicy lekkiej 360, a zatem stosunek omawianych skuteczności wynosi $2{,}5 \times {}^3/_4 = 7{,}^5/_4 = \mathit{1{,}9}$.

d) Czasem zaś chodzi o skuteczność działania w ciągu minuty (ogień zaporowy, nawała ogniowa, zwalczanie czołgów itp); obliczenie tej cechy jest trudniejsze, bo zależy ona od zapasu amunicji zespolonej, od kąta podniesienia, od ciężaru pocisków. Przyjmujemy dla arm. lekkiej 50 do 60 strzałów na minutę baterii czterodziałowej, dla hb lekkiej 25. (Francuzi liczą 48 i 24 dla ognia dwuminutowego).

A zatem stosunek skuteczności działania w ciągu minuty będzie równy $2,5 \times {}^{1}/_{2} = 1,25$. Należy jeszcze wziąć pod uwagę gęstość pocisków, bo wszak 50 pocisków ułożą się gęściej na tej samej przestrzeni niż 25 pocisków, lecz za to promień działania pocisków większych jest większy (dla arm. lekkiej 20 — 25 m, dla hb lekkiej 40 m), co jedno drugie wyrównywa.

e) Skuteczność działania ognia obezwładniającego i zaporowego. Przy szybkostrzelności armat 480 i haubic 360 na godzinę, na każde działo obezwładnianej baterii przypada 120 lub 90 strzałów, czyli co 30 lub 40 sekund strzał. Jeżeli co trzeci strzał trafi tak blisko, że zmusi obsługę do ukrywania się, to na strzelanie pozostają przeciwnikowi odstępy czasu $1^{1}/_{2}$ minuty lub 2 minuty, a zatem przewagę odnosi tu armata w stosunku *4 : 3*.

f) Podobnie rzecz się ma przy ogniu zaporowym. Przyjmujemy szerokość ognia zaporowego baterii 150 m i że w tej przestrzeni atakuje 10 sekcyj nieprzyjacielskiej piechoty, to każda sekcja otrzyma 5—6 strzałów (ewent. 2—3) na minutę w swoim pasie natarcia, co oznacza tempo ognia co 10 i co 20 sekund. A zatem w tym wypadku stosunek skuteczności haubicy do armaty wynosi 1 : 2.

g) Taktyczna giętkość ognia nie gra w tym porównaniu żadnej roli, bo armata zaopatrzona w naboje dzielone może również strzelać ładunkami różnymi i dostosować stromość swych torów do okoliczności.

h) Donośność zależy od ilości i siły ładunków dodatkowych. W czasie wojny armata lekka przewyższała w donośności haubicę lekką o jakie 2 km.

i) Zdolność do długotrwałej jazdy kłusem i pokonywania miękkich gruntów jest mnie więcej jednakowa, bo większy ciężar haubicy wyrównują silniejsze konie. W każdym razie spożycie owsa przez konia silniejszego wynosi 1,5 spożycia przez konia z zaprzęgu armatniego, co odpowiada stosunkowi ciężarów tych dział.

Autor dochodzi do *wniosku*, że haubica lekka przewyższa armatę w 4-ch punktach (a, b, c, d), armata przewyższa haubicę w 4-ch mniej ważnych puntach (e, f, h, i).

(*WEHRTECHNISCHE MONATSHEFTE*—III. 38 r. str. 118).

Obrona kraju a budowa maszyn — prof. R. Woldt. (Wehrpolitik und Maschinenbau).

Poza zbrojnym żołnierzem musi stać robotnik przemysłu obronnego. Wojsko zmechanizowane ma być sprawnie zaopatrywane we wszelkie środki, jakich wymaga nowoczesne prowadzenie wojny. Z punktu widzenia obrony kraju jest rzeczą nader ważną, aby gospodarka przemysłowa stała na najwyższym poziomie sprawności technicznej.

Budowa maszyn jest w gospodarce wojennej dziedziną przemysłową o właściwościach osobliwych. Pracownicy wytwórni maszynowych zajmują wysunięte placówki gospodarcze, bo gospodarka krajowa jest w mierze wyjątkowej zależna od budowy maszyn. Maszyny, siłownie i środki transportu, jako wytwory fabryk maszynowych, nadają życiu roboczemu narodu rytm i tempo. Tak więc budowniczy maszyn jest pionierem współczesnego postępu technicznego.

Ma to wpływ określony na fabryki maszyn, rozważane jako przedsiębiorstwa. Pracownik, który wykonywa maszyny na cudze potrzeby, chce we własnym warsztacie pracować korzystnie. Wszak jest on sam znawcą fachowym dobrych ma-

szyn. Dlatego rozwija on przede wszystkim we własnym przedsiębiorstwie kulturę pracy. Tym sposobem stają się fabryki maszyn klasycznym wzorem nowoczesnej techniki i organizacji.

Można ustalić 3 oznaki dla oceny tego, czy pewien warsztat pracy stoi na odpowiednim poziomie produkcji: stan techniki pracy, metody pracy, organizacja pracy.

I. Procesem wytwórczym fabryki maszyn w warsztatach mechanicznych jest technologia mechaniczna: ukształtowanie postaci przedmiotów. Dostarczane przez huty pręty, szyny, blachy, kształtówki zostają pocięte, wyfrezowane, ostrugane, powyginane. Z pojedynczych członów: dźwigni, walców, kół, rolek, łożysk, korb, śrub itp. powstaje po zmontowaniu gotowa maszyna. W odlewni ma zastosowanie technologia chemiczna: przez stopienie i odlanie powstają zmiany materialne w składzie tworzywa, czyli jego przekształcenie.

Rozważanie gospodarczo-polityczne techniki pracy prowadzi do postawienia następującego pytania: w jakim kierunku inżynier jako przemysłowiec ulepszył swe instalacje? na czym polega nowoczesność jego obrabiarek? co ze stanowiska gospodarki wojennej osiągnięto w kierunku masowej produkcji i dokładności wyrobu, a co jest jeszcze do opracowania?

Biorąc rzecz ogólnie, można powiedzieć, że dzisiejsza obrabiarka do metali może być doprowadzona do wysokiej automatyzacji. Wszak już w czasie wojny światowej dostarczano przemysłowi uzbrojenia sprawne obrabiarki. Ówczesne daleko idące stosowanie niewykwalifikowanych sił roboczych (kobiet i młodzieży przy tokarkach)—jest tego dowodem. Lecz pomiędzy tamtym czasem a dniem dzisiejszym leży pewien okres wydajnej pracy konstruktorskiej. Dobitną tego ilustracją był jeden z ostatnich jarmarków lipskich, zorganizowany pod hasłem: „obrabiarki niegdyś a obecnie". Każda firma wystawiła 2 maszyny: jedną zbudowaną około 1908 r., drugą—ten sam model ulepszony pochodzący w z 1934 r. Różnica stanowiła zaledwie 25 lat, lecz porównawcze dane o rentowności, szybkości pracy i sprawności wykazywały jasno, jakiego dokonano zdumiewającego postępu za ten czas. Obrabiarki przedwojenne wydają się nam sprzętem przestarzałym.

Budowa ogólna jest więcej zwarta, łożyska pozwalają na duże szybkości obrotowe, wzrosła sprawność narzędzi i dokładność ich pracy, elementy sterujące maszyną są starannie dostosowane do sposobu pracy robotnika—oto są cechy główne nowoczesnych ulepszeń.

Dziś każda obrabiarka stała się specyficznym technicznym tworem, a zgłębianie wciąż nowych odmian ma swój urok. Dla sprawności przemysłu uzbrojeniowego te postępy mają ogromnie duże znaczenie. Dla potrzeb wojska wyrób masowy jest warunkiem koniecznym. Dokładność wyrobu musi być taka, aby dała się uskutecznić wymienność poszczególnych części sprzętu. Już w czasie wojny światowej było to możliwe. Dzięki dzisiejszym obrabiarkom osiągnięto takie postępy techniczne w wyrobie maszyn i w dokładności wyrobu przedmiotów, że wszelkie praktycznie wyobrażalne wymagania dowództwa wojskowego w dziedzinie rozwoju fabrykacji mogą być spełnione.

II Podobnie się rzecz ma z dzisiejszym stanem wiedzy o tworzywach. Hutnik jako dostawca dla budowniczego maszyn stał się swego rodzaju robotnikiem precyzyjnym. Wszelkie gatunki stali i żelaza mogą być niezawodnie dostarczone, każdej żądanej jakości. Hutnictwo nie jest już sztuką doświadczalną, lecz nauką. Górnictwo niemieckie zdawna powołało do życia stacje doświadczalne badania me-

tali, dzięki temu dzisiaj prace hut rozpoczynają się od prac badawczych. Zjednoczone stalownie w Niemczech posiadają mnóstwo pracowni i laboratoriów, gdzie zatrudnionych jest 1500 pracowników. Wszystkie surowce przechodzą przez te instytucje; na każde 1000 ton żelaza w czasie procesu jego wytwarzania od rudy aż do walcówki przypada 400 analiz chemicznych, nie licząc pomiarów innych dotyczących np. temperatury topienia, walcowania itp. Materiał z hut, który przybywa do wytwórni mechanicznej, podlega jeszcze badaniom wytrzymałości, analizy chemicznej, badaniom metalograficznym. Te nowe drogi rozpoznania doprowadziły kierownika wytwórni maszyn do samowładnego opanowania metod pracy i traktowania tworzywa.

III. Wszelkie postępy fabrykacyjne są w swym skutku problematyczne, o ile organizacja pracy nie stoi na wysokości zadania. Człowiek i maszyna muszą być wzajemnie zgrani, wpleceni w kolejność etapów pracy, z wyłączeniem biegu jałowego. Jest to dziedzina interesująca i przede wszystkim nie pozbawiona ważnego znaczenia dla dowództwa wojskowego, które powinno wnikać w wewnętrzne życie przedsiębiorstw.

Właśnie wytwórnia maszyn jest doskonałym polem doświadczalnym, bo wszelkie błędy lub powodzenia, które okazują się dodatnimi lub ujemnymi, skutecznie odbijają się na wyrobieniu kierownictwa. Lecz gdy dawniej pierwszy głos miał majster praktyk, dziś rządzi fabryką „naukowa organizacja pracy" oparta na systemie Taylora, której uczą się inżynierowie ruchu fabrycznego w politechnikach. Następnie na wzór Forda wprowadzono metodę pracy ciągłej (transportery).

Dla dowództwa wojskowego budownictwo maszynowe jest ważnym odcinkiem obserwacji. *Nowoczesna wojna jest wojną maszyn.* Walczące wojsko musi być zaopatrzone w maszyny o najrozmaitszych postaciach wykonania technicznego. Chodzi tu o taką gospodarkę przemysłową, która dąży do wysokiej sprawności pracy maszynowej i do precyzji wykonania, gdzie głównie przejawia się czynnik jakościowy. A więc techniczne postępy wytwórczości i metody organizacji pracy fabrycznej powinny być bacznie obserwowane przez kierownictwo wojskowe.

(*DEUTSCHE WEHR* Nr 37 z dn. 8 IX 1938 r.).

Uzbrojenie wojska czeskiego.
(Die Waffen des tschechischen Heeres).

Już w pierwszych latach po wojnie republika czechosłowacka usiłowała stworzyć własną wojenną gospodarkę. Dzięki bogactwom naturalnym kraju w dziedzinie różnych surowców i wybitnemu rozwojowi przemysłu i techniki uzbrojeniowej w zachodniej połowie kraju, rezultat był dodatni. Wszak duża część wytwórni broni byłej monarchii austriackiej znajdowała się na terytorium nowopowstałego państwa, jak np. zakłady Szkody i praskie, wytwórnia maszyn w Bernie, fabryka amunicji Sellier Bellot lub zakłady Görza w Bratysławie.

W rozbudowie systematycznej przemysłu uzbrojenia uwydatnił się z początku silny wpływ francuski, później ograniczył się on do udziału finasowego. Czechosłowacja stała się kuźnią broni dla Małej Ententy. Do 1931 r. Czechosłowacja wywiozła za granicę ponad $^1/_2$ miliona karabinów, 46.000 l. k. m., 13.000 c. k. m., 1.800 dział, 1.500 samolotów itp.

Stan surowców w dziedzinie węgla i drewna był bardzo pomyślny i poz-

walał na silny eksport. Przemysł żelaza i stali pokrywał [1]) swoimi zasobami rudy $^1/_3$ tylko potrzeb własnych.

W 1935 r. wydobyto 11 mil. ton węgla kamiennego, 15 mil. ton węgla brunatnego oraz wytworzono 0,8 mil. ton surówki i 1.2 mil. ton stali. Z innych ważnych rud występuje tam cynk (w 1935 r. — 9.000 ton), brak jest natomiast miedzi. Chociaż kauczuk, tłuszcze, oleje i różne chemikalia muszą być importowane, jednak około 20% wytworów przemysłowych wraca za granicę.

Dla oceny czeskiej techniki uzbrojeniowej ważną rzeczą z punktu widzenia geografii wojskowej jest rozkład surowców i ośrodków przemysłu. O ile to możliwe, probują Czesi przerzucić zagrożone gałęzie przemysłu w rejony strategicznie korzystniejsze, jak np. wytwórnię amunicji z Bratisławy w dolinę Waagu między Trenczynem a Żolniną. Kosztuje to jednak dużo i zmusza do przesiedlenia też robotników.

Na podstawie dekretu o obronie republiki z 13 V 1936 r. uznano 143 grupy przedsiębiorstw, z różnych gałęzi przemysłu, jako specjalnie ważne dla obrony kraju i skupiono je w 5 obwodach: Praga, Pilzno, Berno, Ołomuniec, Morawska Ostrawa. Wynalazki wojskowe muszą być zachowywane w tajemnicy, ich licencja nie może być sprzedana, ani ogłoszone patenty. Wywóz broni podlega kontroli wojskowej. Osoby „niepewne" usunięto z przemysłu wojennego.

Cały rozwój techniki wojskowej podlega Departamentom II, III i IV (artyleria i uzbrojenie, lotnictwo, broń techniczna), które ściśle współpracują z wytwórniami uzbrojenia. Badaniem i odbiorem dostarczanego sprzętu zajmuje się Instytut Techniki Wojskowej i Lotnictwa w Pradze, który również bada wynalazki wojenne.

Główne wytwórnie uzbrojenia są następujące: zakłady Szkody w Pilznie wraz z filiami w miastach: Nirżany [2]), Doudlevec, Hradek, Praga, Mlade Boleslav (samochody), Hradec Kralovy, Komarno [3]) (stocznia). W kartelu ze Szkodą znajduje się fabryka broni w Bernie, czesko-morawskie Tow. Akc. Kolben Danek, huta i kopalnie w Witkowicach. Filie Szkody znajdują się też zagranicą, np. w Rumunii i Jugosławii, a przedstawicielstwa — we wszystkich prawie krajach, jednak zamówienia i dostawa broni muszą odbywać się drogą dyplomatyczną. Inne ważne wytwórnie uzbrojenia, to zakłady Ringhoffer-Tatra [2]), zakłady Baty w Zlinie (samoloty), fabryki Zwolten w Usti (nowa wytwórnia kwasu siarkowego w Żolninie), wytwórnia spłonek Sellier-Bellot we Vlaszim, wytwórnia broni w Pradze, budowa silników w Usti nad Łabą, wytwórnia Görza w Bratisławie, wytw. materiałów wybuchowych w Setinie około Pardubic (pod zarządem wojskowym), państwowa wytwórnia samolotów w Letow, stalownia Poldi w Kladnie itd.

Ogółem wśród wydajniejszych wytwórni Czesi posiadają: broni ręcznej i maszynowej — 8 fabryk, dział i moździerzy piechoty — 5, amunicji — 12, materiałów wybuchowych — 5, samochodów — 8 (z nich 5 może wyrabiać samochody pancerne), samolotów—7, silników samolotowych — 4, statków wojennych rzecznych — 2, gazów bojowych — 5, masek przeciwgazowych — 8 itd. Ponadto szereg wytwórni sprzętu pomocniczego, jak łączności, odzieży itp. W Pilznie znajduje się „Szkoła uzbrojenia". Ilości zatrudnionych w przemyśle wojennym są bardzo wysokie: Szkoda za-

---

[1]) Artykuł opisuje stan przemysłu przed zmianą granic Czechosłowacji. (przyp. rec.)

[2]) Odeszły do Niemiec.

[3]) Odeszło do Węgier.

trudnia ponad 40.000 robotników i urzędników, Witkowice — 3.500, Praga — 15.000, Berno — 8.000 itd.

Wiadomości dotyczące uzbrojenia są skąpe i nie całkiem pewne.

Broń piechoty stanowi zunifikowany *kb. 7,92 mm* wz. 24 syst. Mausera (długość 1.100 mm, ciężar 4 kg bez bagnetu); do strzelań szkolnych w koszarach wprowadzono karabiny pneumatyczne. Wytwórnia broni w Bernie wypuściła kb. samoczynny ZH 29, kalibru 6,5 i 7,92 mm, działający ciśnieniem gazów o ciężarze karabinu piechoty; szybkostrzelność jego wynosi do 100 strzałów na minutę, z magazynkiem dolnym. W ciągu lat ostatnich pracowano usilnie nad rozwojem dalszym tej broni i doszli do konstrukcji bardzo dojrzałej. Ujemną stroną kb. samoczynnego jest bardzo duża ilość naboi, jakiej nie może żołnierz unieść. Nadaje się więc ta broń raczej dla kawalerii, rowerzystów i strzelców zmotoryzowanych.

Pistolet samoczynny 9 mm wz. 24 posiada 8 naboi. Na odległość 50 kroków pocisk wnika w miękkie drewno na głębokość 160 mm, z odległości 700 kroków jego strzał może być śmiertelny.

L. k. m. 7,92 mm Zb wz. 26, działający ciśnieniem gazów (ciężar 9,6 kg z magazynkiem naładowanym, szybkostrzelność 200 strz. na minutę) wytwórni berneńskiej jest jedną z broni najwięcej znanych na świecie. Rozwój jego postępuje nadal. L. k. m. Zb wz. 30 ma trochę większą szybkostrzelność i posiada trójnóg uniwersalny do ognia plotniczego. Ten k. m. był wykonany dla Rumunii, Połudn. Ameryki, Hiszpanii, Portugalii, Chin, Jugosławii, a licencję na jego wyrób przekazano Anglii. Przy lekkich podstawach zastosowano opornik sprężynowy.

Typów *c. k. m.* jest na uzbrojeniu kilka: a) C. k. m. 7,92 mm wz. 7/24 syst. Schwarzlose z chłodzeniem wodnym i odrzutem zamka. Szybkostrzelność 300 na minutę, naboje w taśmie, ciężar 40 kg. Broń ta pochodzi z przeróbki dawnego c. k. m. austriackiego 8 mm wz. 7/12. Siła przebijająca na bliższe odległości cokolwiek wzrosła. K. m. otrzymał podstawę do ognia plotniczego. b) Wytwórnia w Bernie wykonywa własnej konstrukcji c. k. m. CZ wz. 30 kalibru 7,92 mm również z chłodzeniem wodnym, nabojami w taśmie i podstawą uniwersalną.

Moździerz piechoty 90 mm wz. 17 wyrzuca bomby 6,1 kg na odległość do 2.000 m. Ciężar na stanowisku 132 kg, rozkładalny na 4 części, z których najcięższa waży 38,5 kg. Największy kąt podniesienia 70°, kąt ostrzału bocznego okólny. Szybkostrzelność 6 strz. na minutę. Moździerz ten służyć może również do zwalczania czołgów oraz posiada też miny gazowe. Ten typ ma być zastąpiony przez moździerz 81 mm Stokes-Brandta, wykonywany przez firmę Szkody, z donośnością do 3.000 m.

Dużą rolę w uzbrojeniu odgrywają *granaty ręczne*. Granat zaczepny wz. 34 działa swymi odłamkami i wybuchem w promieniu 15 m. Granaty obronne działają swymi odłamkami w promieniu 100 m. Dla celów specjalnych istnieją ponadto granaty łzawiące, gazowe, zapalające, dymne, oświetlające, stapiające.

Garłacz miotał *granaty karabinowe* na odległość do 300 m. zastąpiono go granatnikiem specjalnym z donośnością 500 m, który jest stosowany również w kawalerii.

Broń przeciwpancerna (towarzysząca) ma szereg przedstawicieli: są to armatki 37 mm (Szkoda wz. 21 L/27); 47 mm (Szkoda L/22); 37/50 mm (dwulufowe, obok lub nad sobą położone lufy, syst. Szkody); 40/66 mm (lufy jedna na drugiej, syst. Szkody); 32/70 mm (Szkoda wz. 26, lufa mniejsza wkładana w większą); 37,2/70 mm (Szkoda BA); 44/60 mm (wg. syst. Vickersa wyrabia Kolben Danek w Pradze).

Donośność ich mieści się w granicach 2.500 do 7.600 m, amunicją służą granaty odłamkowe i pancerne. Niektóre typy dostarcza się Rumunii (np. typ BA), inne np. wz. 26 — Litwie. Działa przeciwpancerne przydzielone są również kawalerii.

W dziedzinie *artylerii* należy nadmienić o armacie 80 mm wz. 30 zmotoryzowanej, z donośnością 14 km; działo to może też służyć do obrony plotniczej. Większość typów dział pochodzi z czasów wojny światowej, zostały one tylko cokolwiek zmodernizowane po wojnie. Z dawnych dział szkodowskich pozostały więc: armata 80 mm wz. 17/18; arm. górska 77,5 mm wz. 15: haubica górska i polowa 100 mm wz. 14/19; armata 150 mm wz. 15. Duży impuls konstruktorom czeskim nadawały konkursy zagraniczne i stąd powstały niektóre nowe typy, a mianowicie: arm. 75 mm górska i hb. górska 90 mm wz. 28 na łożu wspólnym; arm. 83,5 mm L/33; arm. 75 mm wz. 28; arm. 105 mm wz. 35; arm. 155 mm wz. 28 i moździerz 220 mm wz. 28. Maksymalna donośność armat ciężkich wynosi 23.650 m, polówek— 19.000 m. Ponadto wiadomo, że stworzono ulepszony moździerz 220 mm wz. 34 i hb. 150 mm wz. 35 (danych charakterystycznych brak).

Artyleria motorowa istnieje w postaci wożonej na terenowych wozach ciężarowych (armaty 80 mm i hb. 100 mm) wraz z ciągnikami gąsienicowymi; jako przyczepki za ciągnikiem 6-cio kołowym wozi się armaty 150 mm i moźdz. 220 mm, ciągniki zaś 120 konne i inne przewożą w całości lub w częściach moździerze 305 mm i armaty 240 mm.

Artyleria przeciwlotnicza składa się z następującego sprzętu: k. m. 20 mm wz. 35 na wozie motorowym; armatki 40 mm L/60 (szybkostrzelność 100/min., pułap 4.000 m); armaty 83,5 mm wz. 22/24 na przyczepkach. Pomocniczym sprzętem służą reflektory 1.200 i 1.500 mm oraz nasłuchowniki syst. „Tepos".

Z innych zagadnień techniki uzbrojeniowej należy wspomnieć o Komitecie Normalizacyjnym istniejącym od 1922 r. i podległym od 1932 r. M. S. Wojsk. Głównym celem normalizacji w przemyśle jest przygotowanie do szybkiego przejścia z produkcji pokojowej na wojenną. Stan czeskiej techniki uzbrojenia jest bardzo wysoki, dowodem tego są liczby wywozu sprzętu uzbrojenia do takich krajów, jak: Chiny, Hiszpania, Rumunia, Płd. Ameryka, Iran, Afganistan, Persja, Łotwa, Jugosławia, Szwecja, Szwajcaria, a nawet Rosja sowiecka. Przywóz gotowej broni pochodzi od Vickersa, Madsena itd., amunicja specjalna sprowadza się ze Szwajcarii w ilościach nieznacznych, zapewne tylko dla zapoznania się z konstrukcjami.

Najnowsze doświadczenia o walce piechoty z czołgami — Brandt.
(Neuzeitliche Erfahrungen über der Kampf der Infanterie und Panzerkampfwagen).

Poza zagadnieniami taktycznymi autor przytacza wnioski, jakie obserwatorom zagranicznym nasunęły doświadczenia wojny domowej w Hiszpanii odnośnie uzbrojenia piechoty:

1) Rozpoczyna się zmierzch karabinu wypieranego przez pistolet samoczynny. W wojsku gen. Franco pistolet 9 mm z magazynkiem na 30 naboi cieszy się dużym uznaniem.

2) Piechur zaopatrzony w broń palną samoczynną i granaty ręczne będzie zawsze decydującym elementem w walce. Obie walczące strony używają skutecznie systemu sekcji 3 osobowej, naśladując przykłady oddziałów szturmowych z wojny światowej.

3) Piechur powinien być wyposażony obficie w niezawodnie funkcjonujące

granaty ręczne. Stosowane przez wojsko narodowe granaty okazały się niebezpiecznymi w użyciu dla miotających.

4) R.k.m. okazały się całkiem bezcelowe, natomiast c.k.m. pozostaje główną bronią w walce piechoty.

5) Dużo pożytku przynoszą moździerze miotające bomby (im cięższe, tym lepsze) i miotacze płomieni jako uzupełnienie ognia artylerii.

6) Piechota powinna stale mieć do dyspozycji artylerię przeciwpancerną oraz najcięższe k. m. z pociskami pancernymi i szybkostrzelne armatki. Armatki 20 i 37 mm odznaczyły się dodatnio, armaty zaś 65 mm okazały się niestosowne.

7) Artyleria ppancerna musi być ruchliwa i posiadać nieograniczone zapasy amunicji.

Wynalezienie i rozwój techniczny ważniejszego sprzętu wojennego w Niemczech — Dopf.

(Erfindung und technische Entwicklug wichtiger Kriegsgeräte)

Wiadomo powszechnie, że działa i samoloty są obecnie najważniejszymi środkami walki. Jednak zasadniczych rozstrzygnięć, jak niegdyś tak i dzisiaj, dokonywa masa piechoty i poszczególni wojownicy. Mogą być niezbędne do pewnych operacyj olbrzymie działa, samoloty i środki mechaniczne, jednak dla decydującego wyniku walki grają rolę główną: sprzęt i środki walki mniejsze oraz odwaga walczących. W nowoczesnych bitwach nie można obejść się bez karabinów, granatów ręcznych, karabinów maszynowych i pewnych innych środków pomocniczych. Ta drobniejsza broń nie tylko dowiodła swego decydującego znaczenia w czasie wojny światowej, lecz obecna wojna hiszpańska i japońsko-chińska dowód ten potwierdzają.

Ponieważ w czasie szkolenia żołnierze zapoznali się dokładnie z tymi typami broni, może ich obecnie interesować, kto je wynalazł i jak do takiego udoskonalenia technicznego one doszły. Oczywista, że wiele rodzai broni, jak np. *działa* miały poprzedników bardzo dawnych, stosowanych już przed setkami lat. Ustalić ich wynalazcę i prześledzić ich rozwój byłoby rzeczą trudną w ograniczonych ramach jednego artykułu. Nawet badanie naukowe natrafiłoby na duże luki, bo pierwsze początki użycia pewnego sprzętu wojennego często są pokryte ciemnością. Wiadomo, że ludy starożytne używały broni prymitywnej w postaci proc, oszczepów, mieczy, kusz, lecz dziś nie można określić, kto je wynalazł.

Inaczej rzecz się ma z bronią piechoty naszych czasów, która chociaż ma poprzedników, została w ciągu ostatnich dziesiątków lat tak zmieniona, że nie da się prawie porównać z bronią 1866 lub 1870 roku. Wszak broń główna piechoty *karabin ręczny* w ostatnim stuteciu takim podlegał zmianom, o jakich dawniej nie marzono. Tak lekkim i prostym w użyciu, jakim jest dzisiejszy karabin, nie był wcale dawny muszkiet. Strzelanie z niego było czynnością skomplikowaną: nabijanie od wylotu, połączone z przybijaniem stemplem i złożony sposób wywołania zapłonu podsypki z pomocą lontu lub krzemienia.

Wynalazek swego karabinu Niemcy zawdzięczają dwóm ludziom: jednym jest ślusarz z pewnej fabryki broni Michał Dreyse, który wynalazł w 1827 iglicówkę odtylcową, a drugim jest technik uzbrojenia Paweł Mauser, który ulepszył na tyle iglicówkę, że powstał z niej kb. wz. 98, dziś używany w wojsku niemieckim. Oczywista, że droga od wyrobu pierwszej iglicówki do karabinu dzisiejszego była niezmiernie trudna. Dreyse poświęcił bardzo dużo czasu, aby zapłon karabinów

odwylotowych przenieść do wnętrza lufy. Dopiero po wielu próbach udało mu się stworzyć spłonkę, co umożliwiło wyrób naboi zespolonych. Pierwsza iglicówka była jednak jeszcze ładowana od wylotu, dopiero gdy udało się wynalazcy zastąpić ją przez broń odtylcową — dokonał dzieła rewolucyjnego. Dreyse otrzymał za swój patent 10.000 talarów od rządu pruskiego i założył wytwórnię w Sömmerda; a przy końcu czwartego dziesiątka lat zeszłego stulecia w jego karabin uzbrojone zostały wszystkie pruskie bataliony strzelców. Znaczenia tego wynalazku dowiodła wojna 1870 71 r., kiedy wszystkie szarże kawalerii francuskiej załamywały się w szybkim ogniu nowych karabinów niemieckich.

Paweł Mauser pracował w młodości w królewskiej fabryce karabinów w Oberndorf nad Nekarem i na podstawie konstrukcji Dreysego doszedł do stworzenia broni, która zyskała doniosłe znaczenie wojenne i po pewnych ulepszeniach stanowi typ dzisiejszego karabina. Pierwszy jego model był gotów w 1863 r., uznany jednak został dopiero po wojnie 1870/71 r. i wprowadzony był jako wz. 71, a następnie został ulepszony jako wz. 71/84 wielostrzałowy.

Paweł Mauser i jego brat Wilhelm odznaczyli się później jako wynalazcy różnych rewolwerów, pistoletów i karabinów powtarzalnych, które zostały sprzedane dla wielu wojsk zagranicznych.

Jedną z najważniejszych broni, bez której nie można sobie przedstawić walki piechoty, jest *granat ręczny.* Jego konstrukcja sięga bardzo dawnych czasów, bo już Chińczycy w 1170 r. używali podobnych ciał wybuchowych jako broni miotanej lub podkładanej pod mury obronne twierdz. Ponadto historia wojen wspomina o walkach zawziętych zbliska na bomby i granaty ręczne. Grenadierzy 17 stulecia byli uzbrojeni w broń palną i małe bomby do walki zbliska. Bomby ręczne poszły w zapomnienie wobec karabinów celnych, dalej niosących i szybkostrzelnych; lecz w czasie wojny światowej granat ręczny znów odzyskał swe znaczenie w sytuacjach, które wymagały jego użycia, jako to w walkach okopowych i o leje po granatach oraz w walkach ulicznych. Rozwój techniczny granatu ręcznego doprowadził do rozmaitych jego postaci w formie granatów jajowych, dyskowych, trzonowych; te ostatnie uzyskały obywatelstwo wśród sprzętu uzbrojenia dzisiejszego, jako doskonała broń rowów strzeleckich.

W ciągu ostatnich dopiero 50 lat rozwinęła się nowa powszechna broń w postaci *karabinów maszynowych.* Co prawda miała ona poprzedników jeszcze w XV stuleciu, lecz jako broń pełnowartościowa stała się takową w 1887 r., dzięki inżynierowi angielskiemu Hiramowi Maximowi, nad którego wynalazkiem zdumiał się świat wojskowy. Następni wynalazcy, jak Lewis, Colt, Berthier ulepszyli jeszcze tę broń, powiększając jej sprawność. Bo gdy pierwszy model oddawał 200 strzałów na minutę, co uważano za rzecz prawie niewiarygodną, w roku 1900 doszli do 400 strzałów (wojna boerska). W czasie wojny światowej szybkostrzelność przeciętna wynosiła już 600 strzałów na minutę, lecz i tym technika się nie zadowolniła, bo najnowsze wzory wypuszczają w minucie 1.000 pocisków, a podobno pewien wynalazca angielski zbudował k. m. elektryczny o szybkostrzelności 1.500 strzałów na minutę.

Wojna światowa przyniosła dwa nowe wynalazki: *miotacze płomieni* i *miotacze bomb*, czyli moździerze piechoty. Miotacz płomieni był wynalazkiem inżyniera węgierskiego Gabriela Szakatsa. Jest to broń do odpierania szturmu i była stosowana często w Dolomitach. Wynalazca zmarł w Budapeszcie w 1937 r.

Moździerz piechoty w Niemczech był wynaleziony przed wojną przez gen.

Kocha. Z początkiem wojny mało był stosowany i służył do miotania ładunków wybuchowych na przedmiot przeznaczony do wysadzania w powietrze. Dopiero w ciągu wojny znalazł zastosowanie w walkach pozycyjnych, a w wojnie ruchowej do usuwania przeszkód i niszczenia schronów, gniazd k.m., stanowisk odwodów itd. Stał się on ważną bronią piechoty, której zapewne się nie wyrzekną i w przyszłych wojnach.

Hełm średniowieczny znalazł swego naśladowcę w hełmach nowoczesnych, broniących od pocisków piechoty, odłamków granatów i kulek szrapneli. Wynalazcą jego w Niemczech był najpierw Fr. Marx, a następnie prof. Schward w 1915 r. Po wojnie światowej uległ on dalszym ulepszeniom pod względem kształtu, wytrzymałości, materiału, lekkości. Hełm stalowy stał się symbolem nieznanego żołnierza, bo już wielu żołnierzy zawdzięcza mu swe życie.

Wreszcie jako sprzęt pomocniczy na wojnie, lecz posiadający swą wagę w utrzymaniu siły żołnierza, traktowana być powinna ruchoma *kuchnia polowa* („Gulasch-kanone"), wynalazek Ottona Magirusa znanego z ulepszeń sprzętu straży ogniowej; wynalazca liczy obecnie 80 lat.

[*DEUTSCHE WEHR* Nr 30/38 r.]

Nowa francuska haubica lekka. (Die neue frazösische leichte Feldhaubitze).

Artyleria dywizyjna francuska posiada, pomijając armatę górską 65 mm, tylko 2 działa: armatę 75 mm i haubicę 155 mm. Pocisk pierwszej waży 6 kg i zawiera 0,8 kg ładunku wewnętrznego, pocisk drugiej waży 43 kg z ładunkiem wewnętrznym 10 kg. Dział o kalibrze pośrednim w artylerii dywizyjnej dotychczas nie było, artyleria zaś korpusowa ma jeszcze armatę 105 mm. Na podstawie informacji „La France Militaire" Francuzi zamierzają wprowadzić do art. dywizyjnej *haubicę 105 mm* wz- 35 B. Jest to działo szybkostrzelne, z tarczą ochronną. na łożu rozwieranym (kąt ostrzału poziomego 53^0, pionowego od — 5^0 24′ do +36^0 przy łożu zwartym kąt podniesienia do 11^0). Haubica posiada przodek z amunicją, ciąg koński lub mechaniczny (na wrotkach nośnych) z szybkością przeciętną 20 km godz. Na stanowisku haubica waży 1627 kg; strzela granatem wz. 35 ważącym 15,5 kg, z zapalnikiem uderzeniowym lub czasowym. Ładunek w 7 woreczkach w łusce; V_0 do 442 m/sek. Donośność maksymalna przypuszczalnie 13 km, szybkostrzelność 6 strzałów na minutę.

Zadaniem jej będzie zastąpienie częściowe hb. 155 mm, zwalczanie celów zakrytych, niszczenie lekkich umocnień polowych. Działanie jej pocisku jest 2 razy silniejsze niż armaty 75 mm.

Z. S. R. R.

(*TIECHNIKA I WOORUŻENJE*—XI 1938, str. 75).

Miotacze granatów w wojskach obcych — inż. N. Dorowlew.
[Granatomioty w inostrannych armijach].

Miotacz granatów — to najmłodszy rodzaj miotającej broni. Wprowadzenie na wyposażenie większości wojsk moździerza batalionowego zrodziło u konstruktorów myśl stworzenia małokalibrowych miotaczy min (miotaczy granatów) z przeznaczeniem dla drobnych pododdziałów piechoty.

W „Infantry Jornal" Nr 2/36 r. znajduje się notatka p. t. „Pożądana jest dalsza nauka", w której autor mówi: „Rozpowszechnienie się 81 mm moździerzy Stokes-Brandta o donośności 3000 m. wysuwa zagadnienie lekkiej broni ze stosunkowo niewielką donośnością dla drobnych związków".

W numerze czwartym tegoż czasopisma z 1936 r. w artykule „Zabawka czy działo" autor uważa, że z wprowadzeniem karabinów automatycznych (nie pozwalających na stosowanie granatów kb) piechota potrzebuje lekkiego typu sprzętu o torze stromym: 81 mm. moździerz daje ten ogień o torze stromym pułkowi lub batalionowi, lecz kompania nie może już liczyć na bezzwłoczne podtrzymanie ogniem tych moździerzy.

Pożytecznymi mogą być granaty ręczne, lecz odległość ich rzutu jest zbyt mała, nie mogą one zneutralizować karabinów maszynowych nieprzyjaciela umieszczonych dość daleko.

Analogicznie do początkowych typów ciężkich miotaczy min z okresu wojny rosyjsko-japońskiej, które zastępowały ręczną pracę saperów — miotacze granatów (granatniki) zastępują, a raczej uzupełniają siłę muskułów strzelca zużywaną przy rzucaniu granatów ręcznych.

Sciślej należałoby je nazwać: działka małokalibrowe stromatorowe do walki zbliska.

Zasadniczym przeznaczeniem granatników jest — dzięki właściwościom toru stromego — uzupełnienie siły ogniowej karabinów ręcznych i maszynowych.

Granatniki znajdują się na uzbrojeniu w Italii, Japonii, St. Zjedn. Po przyjęciu na uzbrojenie moździerzy batalionowych, we wszystkich krajach rozpoczęto gwałtowne rozpracowywanie „moździerzy kompanijnych", czyli granatników.

Dane charakterystyczne więcej znanych granatników podane są na str. 330.

Szybkostrzelność granatników wynosi od 10 — 35 strzałów na minutę. Większość granatników stanowi typy ładowane od wylotu lufy. Wyjątek stanowi granatnik włoski, posiadający ładowanie podzielne od strony zamka oraz osobną komorę ładunkową (zasada gazodynamiczna). Wszystkie granatniki, za wyjątkiem włoskiego, są sprzętem o budowie prostej, liczonym na masową produkcję w czasie wojny. Prostota w budowie i obsłudze w czasie walki — są to zasadnicze właściwości wszystkich znanych dotychczas granatników.

Niezwykła łatwość obsługi sprzętu w czasie walki, szybkostrzelność i ograniczona ilość obsługi (1 do 3 ludzi) wynikają stąd, że granatniki posiadają tylko jeden ładunek i że zapłon w większości granatników oparty jest na systemie Stokesa.

Konieczność otrzymania minimalnej donośności, przy stromym torze pocisku, wynoszącej około 100 m, równolegle z donośnością normalną około 800—900 m przy jednym stałym ładunku—spowodowały dodatkowe trudności w konstrukcji. Sama tylko zmiana kąta podniesienia (przy stałej szybkości początkowej) nie mogła oczywiście dać pożądanego skupienia strzałów na małych odległościach, dla tego też wszystkie granatniki posiadają takie lub inne urządzenia, pozwalające na zmianę szybkości początkowej przy niezmiennym ładunku. Granatnik włoski posiada zawór odległościowy pozwalający na odpływ nazewnątrz zbytecznej ilości gazów prochowych (przy małych odległościach). Zawór ten posiada dwa położenia: dla dużych odległości jest zamknięty, dla małych — otwarty.

W granatniku japońskim zmianę szybkości początkowej (przy stałym kącie podniesienia, wynoszącym około 45^0) osiąga się za pomocą wysuwającej się iglicy

przez zmianę objętości komory ładunku i długości drogi pocisku w lufie sprzętu. Amerykański granatnik posiada również zmienną objętość komory i zmienną drogę pocisku w lufie.

Pociski, stosowane w większości granatników, są najprostszej konstrukcji i posiadają zapalniki uderzeniowe natychmiastowego działania również bardzo prostej konstrukcji; a więc działanie większości pocisków jest tylko odłamkowe, przeznaczone na rażenie siły żywej przeciwnika. Japoński granatnik posiada oprócz odłamkowego pocisku jeszcze pociski specjalne: dymne i sygnalizacyjne.

Część granatników (np. włoski lub amerykański) ma gładką lufę i strzela pociskami zaopatrzonymi w brzechwy. Inne zaś (np. japoński) posiadają lufę gwintowaną i strzelają pociskami z cienkimi miedzianymi pierścieniami wiodącymi typu Mignier.

Poglądy na zagadnienie granatników, spotykane w literaturze światowej, nie są jednakowe. Włoski i japoński punkt widzenia na tę kwestję sprowadzają się do tego, że granatniki są sprzętem masowego ognia, któremu nie należy stawiać żądań celnego strzelania. Niedostateczność skupienia zastępuje ilość wystrzelonych pocisków. We włoskim wydawnictwie „Rivista di Fanteria" Nr 4/36 r. w artykule „Mortai d'assalto e mortai da 81" autor S. Piazzoni tak opisuje taktyczne zastosowanie granatnika M—35. „Granatnik ten nie może być stosowany pojedynczo i nie jest przeznaczony do dokładnego strzelania. Stąd też pochodzi łączenie po 3 sztuki na drużynę, a trzy drużyny tworzą pluton, podległy dowódcy batalionu". Okólnik włoskiego ministra spraw wojskowych tak określa podstawowe, charakterystyczne cechy zastosowania „granatników natarcia": „„...Działanie dużą ilością; minimalny związek — pluton, który może być podzielony między wysunięte kompanie strzeleckie. Od tego sprzętu należy żądać koncentracji ognia, przynajmniej trzech granatników na jeden i ten sam cel: masą wystrzelonych pocisków i dużą szybkostrzelnością do wąskiego celu otrzyma się pożądany efekt, który nie należy traktować jako efekt zniszczenia, ale jako neutralizację, oszołomienie i wprowadzenie bezładu".

Taktyczne wykorzystanie granatników w wojsku japońskim jest analogiczne do wykorzystywania ich w wojsku włoskim. Grupa granatnikowa posiada 1 granatnik i obsługę z 3 ludzi: jeden — miotający granaty i 2 donoszących Pluton składa się z 2 grup granatników wchodzących organizacyjnie w skład drużyn strzeleckich.

Autor niemiecki Däniker w artykule „Na drodze do stromego strzelania w piechocie" (Militär Wochenblatt" 18.VI/36), podając dane włoskiego miotacza granatów M—35, tak się wypowiada co do taktycznego użycia granatników: „Granatnik powinien zniszczyć pozostałe lub nowopowstające punkty oporu i dać możność piechocie podejść do tych gniazd. Przy tym nie można przeoczyć możliwości stosowania miotacza granatów w obronie. Piechota przyciśnięta przez przeciwnika do ziemi widzi jak ten szykuje się do natarcia zza ukrycia, lecz przeciwnik za ukryciem jest niedosięgalny ogniem karabinowym ani ckm-ych, a granaty ręczne są również bezpożyteczne z racji znacznej odległości. Tutaj właśnie potrzebny jest miotacz granatów. Sposób zastosowania miotaczy granatów wymaga szybkiego prowadzenia ognia.

Zagadnienie dotyczące granatników piechoty w chwili obecnej jest tak samo ważne, jak sprawa strzelania do czołgów z małych odległoci — oba te zagadnie-

nia znajdują się na czołowym miejscu problemu uzbrojenia, są dotychczas jeszcze nie rozwiązane i dlatego wymagają niezwykle czujnej uwagi".

A więc, miotacz granatów M—35, dobrze znany Niemcom, nie zadawalnia ich, nie daje on „rozwiązania zagadnienia" o uzbrojeniu piechoty w granatniki. Niemców bowiem nie zadawalnia taki system, który tylko zawdzięczając „masie pocisków wystrzelonych do wąskiego celu, daje pożądany efekt". Podobnie jak Amerykanie i Francuzi, Niemcy stawiają granatnikowi żądanie dostatecznego skupienia pocisków.

W czasopiśmie „Revue d'Infanterie" XI/36 podana jest wzmianka o 47 mm miotaczu granatów Brandta, znajdującym się jako sprzęt doświadczalny w wojsku St. Zjedn. Doświadczenia wykazały, że miotacz ten jest dostatecznie celną bronią „4 — 5 strzałów mogą uszkodzić lub zneutralizować ckm, ewent. zmusić go do zmiany stanowiska ogniowego". I miotacz ten „bezsprzecznie zwiększa siłę natarcia piechoty".

Na podstawie powyższego można więc ustalić dwa zasadnicze punkty widzenia na sprawę miotaczy granatów:

1. Granatnik — to działko stromotorowe do walki na bliskich odległościach, posiadające dobrą ruchliwość, prostotę konstrukcji i łatwość obsługi — są to niezaprzeczone własności dodatnie granatnika; skupienie zaś jest rzeczą drugorzędną (Włosi, Japończycy).

2. Granatnik — działko stromotorowe do walki na bliskich odległościach, które narówni z dobrą ruchliwością, prostotą konstrukcji i łatwością obsługiwania w czasie walki musi posiadać dobre skupienie strzałów (Amerykanie, Francuzi, Niemcy).

W jednym i w drugim wypadku granatnik jest sprzętem użycia masowego:

1. Nie ma on zastosowania pojedynczo—a więc stwarzają się warunki zapewniające trwałość ogniową (ubywa jeden — strzelają pozostałe) i potrzebną gęstość ognia.

2. Taniość i prostota produkcji pozwalają na możność łatwego nasycenia oddziałów granatnikami.

3. Prostota konstrukcyjna granatnika i łatwość obsługiwania go w walce pozwalają na wyposażenie w ten sprzęt wszystkich pododdziałów strzeleckich po bardzo szybkim przygotowaniu (1 — 2 dni czasu).

Włosi, dążąc do zwiększenia szybkostrzelności swego miotacza granatów, zastosowali częściową „automatyzację" ognia (przy otwarciu zamka — łuskę wyciąga się, przy zamknięciu—powstaje odpalenie), przez co skomplikowali konstrukcję sprzętu i zwiększyli jego ciężar nie otrzymując wzamian żadnych korzyści w zakresie szybkostrzelności w porównaniu z najprostszymi granatnikami typu Stokesa. Najwyższa szybkostrzelność granatników, tj. około 30 strzałów na minutę, jest oczywiście do osiągnięcia nawet przy najprostszych typach. Dalsze zwiększenie szybkostrzelności związane jest oczywiście ze skomplikowaniem sprzętu i zwiększeniem jego ciężaru bez otrzymania wzamian rzeczywistych korzyści w walce. Istotnie, dla otrzymania maksymalnej donośności 900 m przy ciężarze pocisku 0,7 kg i kalibrze 47 mm — niezbędna szybkość początkowa wynosi około 100 m/sek. Czas lotu pocisku na tę odległość wynosi około 15 sekund. Obliczając, że dla wstrzeliwania potrzebne jest zużycie około 3 pocisków, a dla rażenia celu nie mniej niż 3 pociski i że dla zmiany nastawy po obserwacji w czasie wstrzeliwania, potrzebne jest zużycie około 3 sekund na każdy wystrzał, — można będzie zesumować ilość czasu

niezbędną dla porażenia celu, w zależności od szybkostrzelności 47 mm miotacza granatów Brandt'a, co uwidocznione jest w poniższej tabeli:

Szybkostrzelność w strz./min.	Czas zużyty na jeden wystrzał (w sek.)	Czas lotu pocisku (w sek.)	Czas zużyty na poprawki w nastawieniu przy wstrzeliwaniu (sek.)	Czas ogólny na 1 wystrzał przy wstrzeliwaniu (sek.)	Czas ogólny użyty na wstrzeliwanie (3 strzały)	Czas ogólny dla rażenia celu (3 strzały)	Ogólne zesumowanie czasu potrzebnego dla rażenia 1 celu
30	2	15	3	20	60	6	66
60	1	15	3	19	57	3	60
90	$^2/_3$	15	3	$18^2/_3$	56	2	58
120	$^1/_2$	15	3	$18^1/_2$	$55^1/_2$	$1^1/_2$	57

Jak widać z powyższej tabeli, szybkostrzelność przy stromym ogniu praktycznie nie odgrywa roli w przyśpieszeniu procesu rażenia celu, „Martwy" czas lotu pocisku i ilość czasu potrzebna dla korektury nastawy, są wielkościami stałymi, niezależnymi od szybkostrzelności; dlatego więc powiększenie szybkostrzelności nawet trzykrotnie (tj. 90 strzałów na minutę) daje zupełnie nieznaczny zysk na czasie zużytym do rażenia celu—bo tylko 8 sekund, tj. powiększenie szybkostrzelności o 200% daje ogólny zysk w czasie, niezbędnym dla rażenia jednego celu — zaledwie 12%. Tymczasem znaczne zwiększenie szybkostrzelności wymagałoby specjalnych automatycznych przyrządów, co znowu w dużej mierze pociągałoby za sobą skomplikowanie w konstrukcji i obsługiwaniu sprzętu, a tym samym granatnik przestałby być sprzętem „masowym".

(TIECHNIKA I WOOROŻENJE — VI 1938 r. str. 85).

Moździerze piechoty w systemie uzbrojenia państw obcych.—Inż. N. Dorowlew. [Minomioty w sistiemie wooruženij inostrannych armij].

W czasie wojny rosyjsko-japońskiej (lata 1904 — 1905) w walce o Port-Artura okazało się koniecznością uzupełnienie pracy artylerii zastosowaniem min, zakładanych przez saperów. Japończycy powzięli myśl o rzucaniu min z takim rozliczeniem, aby miny siłą zarywały się same w ziemię tuż przed umocnieniem, na które się naciera, i aby rozrywając się niszczyły go. W stosunku do tego typu pocisków postawiono żądania: mina musi zawierać dużą ilość materiału wybuchowego i powinna padać pod dużym kątem, aby głębiej zaryć się w ziemię.

A więc, zamiast bezpośredniego zakopywania miny, zastosowano rzucanie jej za pomocą bardzo prostego w konstrukcji przyrządu, który otrzymał nazwę „miotacza min" a obecnie nazywa się „moździerzem piechoty".

Niemcy wykorzystali doświadczenia wojny rosyjsko-japońskiej i do chwili rozpoczęcia wojny europejskiej, tj. do 1914 r., na uzbrojeniu swego wojska posiadali miotacze min wielkich i średnich kalibrów. Lekki miotacz min w 1914 r. znajdował się w stadium rozpracowywania i prób.

Ciężkie miotacze min pojawiły się po raz pierwszy w wojsku niemieckim w 1919 roku, średnie zaś — już w 1912 roku, a wreszcie lekkie — w 1916 roku. Według twierdzenia niemieckiego autora Th. Spiessa „ten rodzaj sprzętu (miotacze min) należał do liczby tajnych typów, które troskliwie chronione były przed szpiegami". Dla tego też dla przeciwników, szczególnie Francuzów, było wielką niespodzianką masowe wprowadzenie przez Niemców miotaczy min do walki.

W książce „Minenwerfer im Weltkrieg" autor wymieniony wyżej twierdzi, że ironią losu było to, iż we wszystkich wypadkach, gdy w początkowym okresie wojny wprowadzono w działanie ciężkie miotacze min, przeciwnik myślał, że ostrzeliwany jest z tzw. „grubej Berty", która przez to zyskała duży szacunek u nieprzyjaciela.

W poniższej tablicy wskazane są dane liczbowe, charakteryzujące miotacze min z okresu 1914 — 1918 r.

Nazwa	Kaliber w mm	Donośność w mtr.	Ciężar sprzętu w kg.	Ciężar miny w kg.
Ciężki miotacz min	250	420	1.077	100
Średni „ „	170	800	880	50
Lekki „ „	76	1.050	275	4.75

Na podstawie traktatu wersalskiego zniszczono w Niemczech około 30,000 miotaczy min.

Jeżeli do 1917 roku w wojsku niemieckim dominującą rolę odgrywały średnie i ciężkie miotacze min, to od tej daty stwierdzono bardzo szybki wzrost lekkich miotaczy min.

Data	Ilość miotaczy min znajdujących się na froncie		
	ciężkich	średnich	lekkich
1914 r.	70	116	—
IX. — 1917 r.	465	674	1.345
VIII. — 1917 r.	1.355	2.331	12.247
I. — 1918 r.	1.322	2.476	13.329

Wzrost ilości miotaczy min, zwłaszcza lekkich, tłumaczy się tym, że w okresie wojny ruchowej, z głęboko rozczłonkowanymi oddziałami, w terenie pokrytym lejami od walk poprzednich, ze specjalną ostrością wynikała potrzeba zastosowania sprzętu o stromym torze dla towarzyszenia posuwającej się piechocie.

Ciężkie miotacze min odegrały pewną rolę w okresie walki na terenie belgijskim przy zdobywaniu fortec oraz w okresie walk pozycyjnych.

Francuski autor, generał Brosse w Nr 114 „Revue Militaire" z 1932 r. w artykule „Współdziałanie broni" tak charakteryzuje działanie ciężkich miotaczy min w czasie wojny 1914 — 1918 r. „Artyleria ciężka przestaje pracować, gdy linie oko-

pów położone są blisko jedna od drugiej. W tym wypadku robotę w zakresie zniszczenia brały na siebie ciężkie miotacze min. Silne działanie min przy dużych kątach upadku dawało możność zniszczenia blisko leżących celów, znajdujących się za stokiem. Ciężkie miotacze min posiadały duże znaczenie w okresie wojny światowej".

Manewrowy okres wojny wysunął na pierwsze miejsce wśród tego sprzętu lekkie 76 mm miotacze min, które, nie bacząc na znaczny ich ciężar (275 kg) i ograniczoną donośność (1050 m), z powodzeniem wykonywały zadania w zakresie towarzyszenia piechocie. Doświadczenia z ostatniego okresu wojny światowej 1914 — 1918 r. zmusiły wręcz wszystkie wojska do prac nad stworzeniem typu miotaczy min towarzyszących piechocie. Miotacz min z ciężkiego, mało ruchliwego sprzętu, z tego surogatu artylerii — stopniowo począł zamieniać się w lekkie, bardzo ruchliwe działo o stromym torze — w „moździerz towarzyszący piechocie".

We Francji w 1917 r. była utworzona specjalna komisja pod przewodnictwem generała Bolaina celem skoordynowania prac konstrukcyjnych miotaczy min. Jednak komisja ta, nie osiągnąwszy żadnych pozytywnych rezultatów, uległa rozwiązaniu. Dopiero w 1924 r. udało się Francuzom skonstruować pocisk, odpowiadający wszystkim wymogom i tym samym rozwiązać zagadnienie ciężaru i celowości moździerza piechoty.

Do pewnego stopnia monopol na produkcję tych moździerzy wywalczyła sobie francuska firma Brandt, budując w 1928 roku specjalną fabrykę z poligonem i laboratoriami. Firmie tej udało się wyprodukować najbardziej udoskonalony typ lekkiego moździerza piechoty kalibru 81 mm. Do 1932 roku większość wojsk świata wprowadziła na swoje uzbrojenie 81 mm batalionowy moździerz typu Brandta.

Na podstawie szeregu wojen stwierdzono, że te moździerze uzyskały dobrą ocenę jako uzupełnienie i zamiana atylerii ciężkiej dla bliskiej walki i jako specjalny typ uzbrojenia towarzyszącego. Udatne konstrukcyjnie rozwiązanie przy genialnym w swej prostocie zapłonie (system ang. Stokesa) — dało możność większości państw bazowania swego uzbrojenia piechoty na moździerzach typu Stokes-Brandt.

Po przyjęciu na uzbrojenie batalionowego moździerza — wszystkie prace z tego zakresu we wszystkich prawie państwach ześrodkowały się na otrzymaniu moździerza bardziej lekkiego niż batalionowy, mając na celu nasycenie tym sprzętem drobnych pododdziałów piechoty.

Małokalibrowe miotacze min, analogicznie do początkowych typów, mają zastąpić siłę muskułów strzelca przy rzucaniu ręcznych granatów. Stąd i wypływa nazwa, używana dla określenia małokalibrowych miotaczy min, — „miotacze granatów" (granatniki) (p. str. 322).

W 1935 roku miotacz granatów wprowadzono na uzbrojenie wojsk Italii i Japonii. Zasadnicze przeznaczenie miotacza granatów jest: obecnością ognia stromotorowego uzupełnić siłę ogniową karabinów maszynowych i zwykłych kb.

W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej (Infantry Journal Nr 4/1936 r.) przeprowadzano próbne ćwiczenia z 47 mm moździerzem Brandta. Amerykanie stwierdzają, że wprowadzenie tego typu sprzętu „zwiększa siłę natarcia kompanii[1]).

---

[1]) p. Wiad. Techn. Uzbr. Nr 36, str. 296.

Na równi ze zwiększeniem tempa prac nad miotaczem granatów w 1936 r. stwierdzono pewne tendencje w rozpracowaniu średniego, pułkowego miotacza min. Większość autorów na podstawie danych 81 mm moździerza Brandta nabiera przeświadczenia o możliwości otrzymania dostatecznie ruchliwego i silnego pułkowego moździerza. W niemieckim wydawnictwie „Wehrtechnische Monatshefte" Nr 10/ 36 r. autor W. Brandt stwierdza, że moździerz pułkowy powinien posiadać następujące dane: ciężar sprzętu około 150 kg (możność dzielenia na 6 — 8 juków), ciężar pocisku — ok. 20 kg, donośność — ok. 2500 m.

Francuski autor generał Rouquerol („L'Artillerie d'accompagnement et grande puissance") stawia żądania podobne niemieckim — a więc: ciężar sprzętu — ok. 17 kg, donośność — ok. 2000 m. Względy co do zastosowania moździerzy w wojskach cudzoziemskich są następujące: — wszystkie moździerze, istniejące uprzednio i obecnie w różnych wojskach, można podzielić na dwie zasadnicze grupy: 1) moździerze wsparcia i 2) moździerze towarzyszenia.

Zadania rozwiązywane przez jedną i drugą grupę moździerzy są różne, stąd i różne w zasadzie są żądania im stawiane.

Moździerze wsparcia (wzmocnienia). Zasadniczym zadaniem ich jest uzupełnić, a czasami zastąpić zwykłe działa artylerii, celem rozwiązania zadań bojowych ograniczonego zakresu.

Zadaniem ciężkich moździerzy — jest uzupełnienie, wzmocnienie lub zastąpienie ciężkich haubic przy strzelaniu na bliskie odległości (tj. przy strzelaniu ciężkich haubic najsłabszym ładunkiem).

Zadaniem średnich moździerzy — jest wsparcie, uzupełnienie ognia haubic dywizyjnych przy strzelaniu do bliskich celów.

A więc, podstawowym zadaniem moździerzy wsparcia jest odciążenie artylerii od ostrzeliwania bliskich celów, aby tym samym dać artylerii możność pełnego wykorzystania swej dalekonośności. Zatem moździerze tego typu rozwiązują zadania w zakresie zniszczenia umocnień przeciwnika i rażenia siły żywej.

Moździerze, będąc w zasadzie „surogatem" artylerii, powinny być sprzętem tanim, sprzętem masowej produkcji w czasie wojennym. Ograniczona donośność, a stąd i ograniczone ciśnienie — mają pozwalać na zastosowanie zastępczych materiałów wybuchowych.

Zbyteczna donośność moździerza piechoty zwiększa ciężar sprzętu i zniża procent wypełnienia pocisku materiałami wybuchowymi, zniżając tym samym i skuteczność pocisku.

Przeciętna i konieczna donośność (2,5 klm u Niemców, 2 klm u Francuzów) moździerzy wsparcia podyktowana jest koniecznością ostrzału tych celów, które nie mogą być objęte strefą obstrzału najcięższych, ciężkich, albo dywizyjnych haubic, zajmujących stanowiska ogniowe pozwalające im na wykorzystanie całkowicie swej dalekonośności.

Moździerze towarzyszące piechocie. Ten rodzaj broni po wojnie światowej 1914 — 1918 jest najbardziej rozpowszechniony we wszystkich wojskach świata. Właśnie tej kategorii moździerzy poświęcało się i poświęca do chwili obecnej najwięcej uwagi i to we wszystkich państwach — i dlatego najbardziej dokładnie rozpracowanymi w dobie obecnej są moździerze piechoty tego typu. Duża ruchliwość tego rodzaju sprzętu bazuje się na możliwości łatwego przenoszenia, szybkiego roz-

łożenia na oddzielne juki, na łatwości wyboru stanowiska ogniowego, na dużej stromości toru pocisku, pozwalającego moździerzowi z za dowolnego ukrycia razić cele położone za każdą osłoną, na prostocie konstrukcji i łatwości w obsługiwaniu.

Wszystkie te zalety pozwalają moździerzowi tego typu na pozytywne rozwiązanie zasadniczego zadania — rażenia ośrodków ogniowych i siły żywej nieprzyjaciela, niedostępnych dla płaskiego ognia karabinów ręcznych i maszynowych, a także neutralizowania, oślepienia dymnymi pociskami punktów obserwacyjnych i stanowisk dowódców nieprzyjaciela.

Konieczna donośność moździerza towarzyszącego piechocie, jak i jego siła, jest w zależności od charakteru bojowego zastosowania pododdziałów moździerzy.

Wychodząc z tego założenia, omawiane moździerze można podzielić na batalionowe, kompanijne i wreszcie na plutonowe (te ostatnie zazwyczaj nazywają się już miotaczami granatów).

W poniższej tabeli podane są zasadnicze dane moździerzy towarzyszących piechocie.

Typ	System	Państwo	Kaliber	Ciężar pocisku w kg.	Donośność w mtr.	Ciężar sprzętu w kg.	Ciężar poszczególnych części: Lufa	Dwójnóg	Płyta
batalionowe	Brandta	Francja	81,4	3,26 8,6	3000 1150	58,4	20,4	18	20
	amerykański	Stany Zjedn. Am. Płn.	81,4	3,14 5,5 6,5	3200 2200 1800	62,7	19,5	20	22,5
	Rheinmetall	Niemcy	81,4	4	4400	85	31	29	25
	holenderski	Holandia	81,4	3,45	2200	55	—	—	—
kompanijne	amerykański	St. Zj. Am. Płn.	47	1,5	2200	28,3	—	—	—
	Brandta	Francja	60	1,1 1,3	1700 1600	19,8	—	—	—
miotacze granatów	Amerykański ręczny moździerz	St. Zj. Am. Płn.	50	0,92	685	7,8	—	—	—
	Włoski miotacz granatów „M-35"	Italia	45	0,435	500	15	—	—	—
	Hiszpański wz. „Valero - Esna"	Hiszpania	50	0,75 1,2	1000 750	7	—	—	—
	Japoński miotacz granatów „89"	Japonia	50	0,6	500	6,5	—	—	—
	Brandta	Francja	47	0,7	900	10	—	—	—

T. J.

[*WIESTNIK INŻYNIEROW I TIECHNIKOW—Nr 2/37]*:

Hartowanie powierzchniowe prądami wielkiej częstotliwości [1])

prof. N. Bołchowitinow

Zagadnienia zróżniczkowanej termicznej obróbki, a w szczególności hartowania powierzchni za pomocą elektrycznego nagrzania według sposobu prof. N. Gewelinga jak również nagrzewania prądami wysokiej częstotliwości — coraz więcej zwracają uwagę światowej myśli technicznej.

W Ameryce nagrzewanie prądami wysokiej częstotliwości jest już laboratoryjnie dawno zbadane i szeroko stosuje się np. w wytwórniach międzynarodowej spółki żniwiarek. Przede wszystkim stosuje się tę metodę do nagrzewania ciał obrotowych, naprzykład wałów korbowych, przeróżnych wałków itp.

Aparaturę do tego nagrzewania, opracowaną przez inż. Trana i Beningnofa, wyrabia amer. firma „The Ohio Crankshaft Co" w Clevelandzie.

Wybitną zaletą elektrycznego nagrzewania jest jego oszczędność: energię zużywa się na nagrzanie powierzchni tylko tego miejsca, które ma się hartować, np. jeżeli w przedmiocie o ciężarze 1 tony trzeba zahartować 10 kg, to nagrzewa się nie całą tonę metalu, a tylko te 10 kg.

Przy nagrzaniu w piecu i w szczególności w ostrym płomieniu acetylenowym powierzchnia nagrzewa się raptownie, powstają naprężenia, a przegrzanie następuje dopiero po pewnym czasie. Przy elektrycznym sposobie — nagrzanie następuje w całym przekroju i niebezpieczeństwo powstania naprężeń jest znacznie mniejsze.

Oprócz tego przy działaniu prądami wysokiej częstotliwości nagrzanie stali zachodzi z dwóch powodów: wskutek strat histerezy i wskutek strat od prądów wirowych. Oba te nagrzewające czynniki mają swe maksimum na początku operacji. Po przejściu przez Ac3 straty histerezy zupełnie odpadają, a straty od prądów wirowych mocno maleją. Dlatego nawet podwójne przetrzymanie pod działaniem prądu nie daje przegrzania i prąd zużywa się na głębsze przegrzanie przedmiotu w kierunku do środka.

Prędki czas nagrzania (do 8 sek.) zapewnia ogromną wydajność aparatury i dla wielkiego przemysłu i masowych wyrobów ma szczególnie ważne znaczenie.

Do hartowania powierzchni najlepiej nadają się gatunki stali o ziarnie 6—8, otrzymanym drogą dodania aluminium. Dają one możność otrzymać na powierzchni hartowanej drobnoiglasty martenzyt bez hartowniczych pęknięć.

Przed powierzchniowym hartowaniem konieczną rzeczą jest mieć stal drobnoziarnistą. Dlatego stal poddaje się ulepszeniu (hartowaniu z odpuszczaniem) w celu stworzenia struktury sorbitycznej lub też — normalizacji z przyśpieszonym ochładzaniem.

Nagrzanie w ciągu niewielu sekund nie pozwala prawie na powstanie dyffuzji i dlatego struktura do powierzchownego hartu powinna być przygotowana wcześniej, podobnie np. jak się to robi przed azotowaniem, Po harcie wał poddaje się odpuszczaniu przy niskich temperaturach dla usunięcia pozostałych naprężeń. Potem wał szlifuje się z dokładnością do 0,5—0,75 mm na średnicy i odsłania się zahartowaną warstwę o twardości powyżej C 56 według Rockwella; twardość jego zwykle bywa od C 58 do C 60.

---

[1]) wg The Iron Age, X. 1936 r.

Przy wyrobie zaleca się sprawdzanie obecności pęknięć hartowniczych przy pomocy proszku magnetycznego. Po namagnesowaniu wał zanurza się do wanny z oliwą transformatorową z rozbełtanym najdrobniejszym proszkiem magnetycznego krokusa.

W miejscach pęknięć uszkodzenie strumienia magnetycznego powoduje wyjście linij magnetycznych nazewnątrz i utworzenie biegunów, co wytwarza przyleganie opiłek w miejscach, które dokładnie wykazują wszystkie powierzchniowe defekty.

Bardzo ważną jest rzeczą, że przy nagrzewaniu prądami wielkiej częstotliwości, z powodu dużej prędkości i jednostajności przegrzewania nie powstaje odwęglanie ani też wyraźny wzrost ziarna. W rezultacie otrzymuje się bardzo twardy, nawet przy 1000 krotnym powiększeniu drobnoiglasty martenzyt, posiadający wysoką spoistość.

Kombinowane stosowanie małych strug wody pod ciśnieniem i rozdzielenia nagrzewającego pierścienia induktora, pozwalają otrzymać troostytowe przejście od zahartowanej twardej powierzchni ku ciągliwemu rdzeniowi i w ten sposób uniknąć ferrytowych wydzielin obniżających wytrzymałość.

Struktura rdzenia dzięki prędkiemu nagrzaniu wcale się nie zmienia. Powierzchniowy efekt, charakterystyczny dla prądów wysokiej częstotliwości, nie pozwala przenikać nagrzaniu do rdzenia przedmiotu.

Aparatura do nagrzania i powierzchniowego hartu prądami wysokiej częstotliwości jest skomplikowana i droga, jednakże wielka jej wydajność czyni ją ekonomiczną.

Zwykły silnik napędza specjalną prądnicę wysokiej częstotliwości, wytworzony prąd transformuje się na niskie napięcie i wysokie natężenie (amperaż). Prąd ten doprowadza się do specjalnego induktora złożonego z dwóch półpierścieni, międzv które szyjką swą zakłada się wał podlegający hartowaniu. Induktor wykonany jest z miedzi i wewnątrz ochładzany wodą. Woda, wychodząc strugami pod ciśniem z otworów, rozmieszczonych na jego wewnętrznej cylindrycznej powierzchni, obryzguje i zahartowuje powierzchnię szyjki wału. Zamknięcie półpierścieni induktora tworzy pierwotne uzwojenie transformatora indukującego prąd w nagrzewanej części z magnetycznego materiału przez minimalny luz powietrzny. Luz ten ustala się wcześniej i mechanicznie podtrzymuje się w czasie pracy.

Pierścieniowe prądy wzbudzane w szyjce wału są głównym czynnikiem nagrzewania; w ten sposób energia cieplna niezbędna do nagrzewania powstaje w samej stali, co stanowi podstawową zaletę nagrzewania elektrycznego.

Specjalna kontrolna pozwala automatycznie określać kW/sekundy niezbędne do nagrzania określonej objętości metalu. Ilość ich określa się z doświadczeń wstępnych.

Możność wysokowartościowego, wydajnego i ekonomicznego hartowania powierzchni szyjek wałów korbowych i innych ciał obrotowych wytwarzanych masowo, daje ogromne prerogatywy. Staje się możliwe zastosowanie nowych łożyskowych materiałów, w szczególności ołowianych brązów, zwiększenie prędkości i ciśnień, co w wytwórczości współczesnych silników, a w szczególności dieseli ma duże znaczenie. Zużycie szyjek wału, dzięki dużej twardości, obniża się kilkakrotnie.

J. S.

SPRAWOZDANIA I RECENZJE

Celowniki dział polowych — ppłk O. Snietivy.
(*„Zamierzowacze polnich diel"—Vojenské Technicke Zpravy* — X — 1938, str. 224).

Konstrukcja celowników dział polowych rozwijała się równolegle z konstrukcją tych dział, albowiem prawie każde udoskonalenie działa pociągało za sobą udoskonalenie celownika.

Zadania stawiane celownikom. Aby trafić do wybranego celu, należy lufę działa odpowiednio nakierować, tj. ustawić ją w płaszczyźnie strzału i nadać jej odpowiednie podniesienie, o ile pomijamy wpływ wiatru i zboczenie.

Ponieważ głównym zadaniem artylerii polowej jest ostrzeliwanie celów niewidocznych ze stanowiska ogniowego działa (strzelanie pośrednie), a tylko wyjątkowo strzelanie nawprost — celownik musi być tak skonstruowany, by odpowiadał tym sposobom strzelania. Wymaganie to doprowadziło do konstrukcji celowników, przy których linia celownicza była niezależna od ruchu lufy, w odróżnieniu od broni ręcznej, gdzie linia celownicza, łącząca szczyt muszki ze szczerbiną celownika, jest zależna od ruchu lufy. [1])

Niezależna linia celownicza nie zależy od położenia lufy, tak że przy dowolnym jej położeniu można przezierać na cele rozmieszczone dookoła działa w granicach pełnego poziomego pola ostrzału 6400 tysięcznych, a na kilkaset tysięcznych w granicach pionowego pola ostrzału. Niezależność powyższa osiągnięta została dzięki odpowiedniej konstrukcji.

Jeśli tedy lufę działa skierujemy na cel, czyli znajdzie się ona w płaszczyźnie strzelania, to należy jej nadać jeszcze odpowiednie podniesienie.

Na rys. 1 przedstawione są kąty, które należy uwzględniać przy podniesieniu lufy i które muszą być jej nadane za pomocą celownika. Są to: τ_c = kąt położenia celu i ξ = kąt celownika.

Celowniki skonstruowane są w ten sposób, że powyższe 2 kąty mogą być nadawane oddzielnie, przez co umożliwiona jest kontrola jednego i drugiego.

Opis celowników. Celowniki dział polowych można podzielić na 2 grupy: 1. celowniki niezależne, 2. celowniki zależne od ruchu lufy. W grupie 1. połączenie celownika z lufą działa jest tak urządzone, że w wypadku nadawania lufie podniesienia celownik nie wykonywa widocznego ruchu.

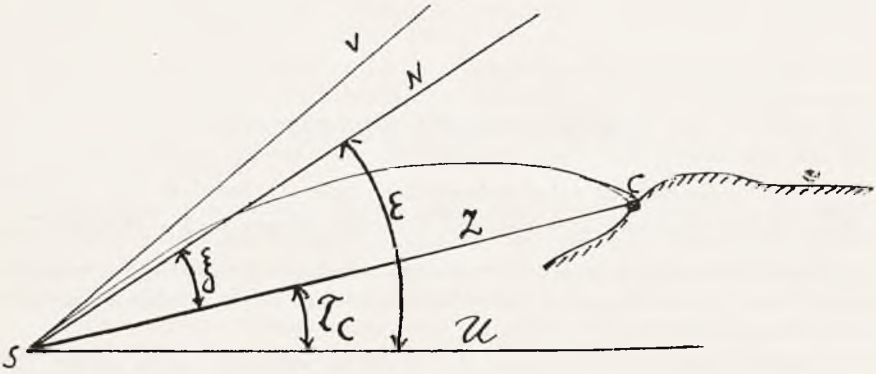
W grupie 2 celownik wykonywa ruch równocześnie z ruchem lufy.

---

[1]) p. „Przyrządy celownicze, niezależny celownik, niezależna linia celownicza"—ppłk W. Vorbrodt. Przegl. Art. 1933 r., str. 204.

Zależnie od sposobu rozwiązania u celowników nadawania kąta podniesienia można celowniki podzielić na: 1. słupkowe, 2. bębnowe i 3. tarczowe.

Celowniki słupkowe są na ogół zależne i mogą wyłączać pochylenie kół, ewentualnie derywację.



Rys. 1.

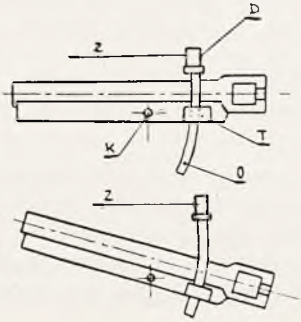
S = stanowisko działa, C = ostrzeliwany cel, U = poziom lufy, Z = linia celu, N = linia podniesienia (przedłużenie osi lufy), V = linia strzału, ε = kąt podniesienia, ξ = kąt celownika, τ_c = kąt położenia celu.

Celowniki bębnowe — najwięcej używane — mogą być bądź to zależne, bądź niezależne i uwzględniają one pochylenie kół, ewentualnie również derywację.

Celowniki tarczowe są dotychczas niezależne i mogą również wyłączać pochylenie i derywację.

Celowniki słupkowe.

Zasada, na której konstrukcja tych celowników się opiera, widoczna jest z rys. 2.



Rys. 2.

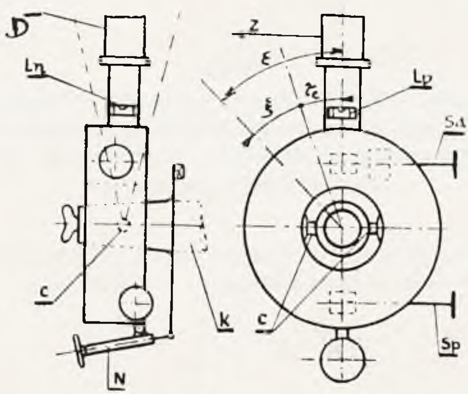
Z = linia celu, D = przeziernik. K = czop kołyski.

W tylnej części kołyski przymocowana jest osnowa celownika T w kształcie wspornika; w niej znajduje się wodzidło, w którym może przesuwać się łuk zębaty 0 celownika; a mianowicie ruchem dokładnym — przez obrót pokrętki odległości i ruchem pobieżnym—za pomocą ręki, po zwolnieniu odpowiedniej zapadki. Na łuku oznaczona jest podziałka odległości, a na jego wierzchołku umocowany jest przeziernik. Wspornik posiada urządzenie, umożliwiające nastawienie łuku w płaszczyźnie pionowej, przez co wyłączony jest wpływ pochylenia kół, ewentualnie również derywacji.

Celowniki te posiadają wiele niedogodności, dlatego też zastąpione zostały przez bardziej nowoczesne celowniki bębnowe, które odpowiadają doskonale wszelkim wymaganiom.

Celowniki bębnowe.

Celownik zależny osadzony jest na stożku lewego czopa kołyski w ten sposób, że w razie obrotu czopa K (rys. 3) podczas nadawania kąta podniesienia lub nachylenia lufy, w tymże kierunku i o taki sam kąt obraca się celownik. Ponadto kadłub celownika przez obrót śruby nachyleń N może się nachylać w granicach kilku stopni w obie strony, a mianowicie wokoło 2 czopów, których wspólna oś jest równoległa do osi lufy, co jest ważne ze względu na wyłączanie wpływu pochylenia kół.



Rys. 3.

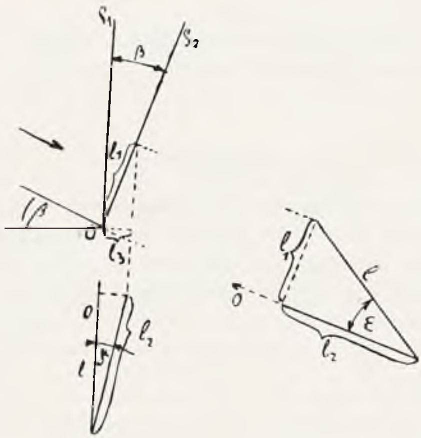
Działanie celownika. Przez nastawienie kąta położenia celu τ_c — za pomocą pokrętła śruby kątów położenia S_p — i nastawienie kąta podniesienia ξ za pomocą śruby odległości S_d — górna część celownika, zaopatrzona w poziomnicę położenia, nachyli się o kąt $\varepsilon = \tau_c + \xi$. Jeśli następnie nadamy podniesienie lufie takie, że poziomnica położenia L_p zostaje zgrana, to w tym momencie lufa otrzyma potrzebne podniesienie.

W wypadku pochylenia działa linia celu nie jest skierowana po nadaniu elewacji na poprzedni punkt celowania, lecz posiada pewne boczne odchylenie, które musi być wyeliminowane za pomocą mechanizmu kierunkowego albo przez ruch całego działa.

Odchylenie to, które celownik wykaże i wyłączy automatycznie, spowodowane jest pochyleniem działa, co można wyjaśnić następująco:

Obliczmy, o jaki kąt odchyli się oś lufy przy nadaniu jej podniesienia ε i kąta pochylenia β.

Na rys. 4 przedstawiona jest sytuacja w 3 rzutach, a mianowicie: w rzucie pionowym, poziomym i w kierunku strzałki (prostopadłym do płaszczyzny ρ_2).



Rys. 4.

0 = pozioma oś lufy, ρ_1 = płaszczyzna pionowa, w której poruszałaby się lufa, gdyby nie było pochylenia, ρ_2 = płaszczyzna, w której porusza się lufa przy pochypochyleniu, β = pochylenie osi kół, γ = kąt, o który odchyli się lufa od kierunku na cel w danym wypadku.

Dla obliczeń wyobraźmy sobie na osi lufy 0 odcinek długości l. Potrzebne długości obliczymy kolejno z rzutu bocznego i pionowego.

$l_1 = l \sin \varepsilon$

$l_2 = l \cos \varepsilon$

$l_3 = l_1 \sin \beta$

$$\sin \gamma = \frac{l_3}{l_2} = \frac{l_1 \sin \beta}{l \cos \varepsilon} = \frac{l \sin \varepsilon \, . \sin \beta}{1 \cos \varepsilon} = \sin \beta \, . \operatorname{tg} \varepsilon.$$

O kąt γ odchyli się lufa od kierunku na cel i to w prawo, jeśli lewe koło znajduje się wyżej. Aby wyeliminować wpływ pochylenia, należy uskutecznić poprawkę o wartość γ w przeciwnym kierunku.

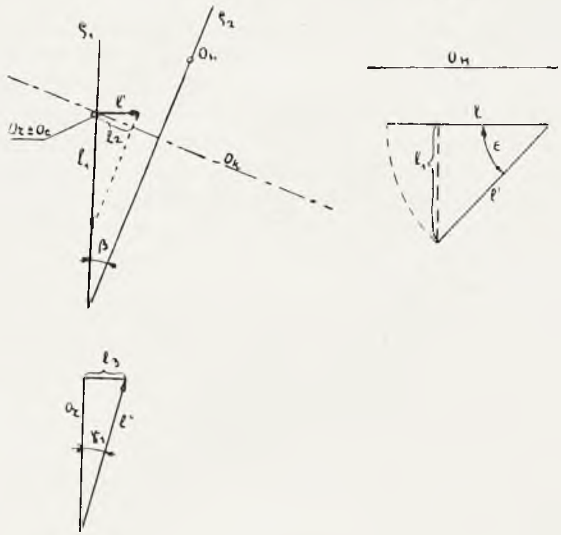
Teraz wyobraźmy sobie w 3 rzutach prostokątnych, w jaki sposób odchyli się linia celownicza, jeśli lufie nadamy podniesienie, które nastawione jest na celowniku (rys. 5).

Dla łatwiejszego rozumowania optyczna linia celownicza uważana jest za równoległą do osi lufy i przesunięta jest na oś czopów celownika O_c.

Oznaczmy w kierunku linii celowniczej odcinek długości l. Przy nastawieniu podniesienia ε na celowniku przesunie się ten odcinek w płaszczyźnie ρ_1 w poło-

żenie l'. Przez nadanie podniesienia lufie odcinek ten obróci się koło osi O_K do położenia l'', wówczas

$$l_1 = l' \sin \varepsilon, \; l_2 = l_1 \sin \beta, \; l_3 = \frac{l_2}{\cos \beta}.$$



Rys. 5.

ρ_1 = płaszczyzna pionowa, w której nachyla się kadłub celownika przy nastawianiu podniesienia, ρ_2 = płaszczyzna prostopadła do osi czopów kołyski, O_K = oś czopów kołyski, O_H = oś lufy przy elewacji 0, O_Z = linia celownicza położona w kierunku równoległym do osi lufy.

Kąt, o który odchyli się optyczna linia celownicza przy nadaniu lufie elewacji, obliczymy z rzutu poziomego, gdzie długość $l'' = l$.

$$\sin \gamma_1 = \frac{l_3}{l} = \frac{l_2}{l \cos \beta} = \frac{l_1 \sin \beta}{l \cos \beta} = \frac{l \sin \varepsilon \, . \, \sin \beta}{l \cos \beta} = \operatorname{tg} \beta \, . \, \sin \varepsilon.$$

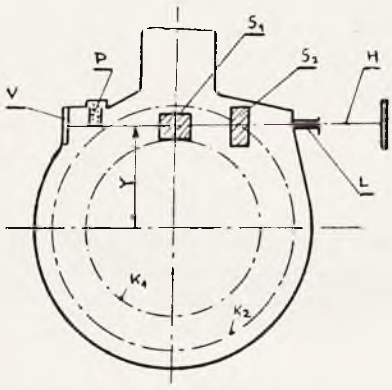
O kąt ten odchyli się optyczna linia celownicza w prawo od początkowego swego kierunku w danych warunkach i gdy lewe koło położone jest wyżej.

Przez porównanie wyrazu dla γ i γ_1 widzimy, że linia celownicza przeziernika odchyla się w tym samym kierunku i o ten sam kąt (?), o jaki wychyla się lufa przy elewacji z kierunku na cel. Dzięki temu wpływ pochylenia osi kół jest wyeliminowany.

Zjawisko to wykorzystane zostało również w celownikach dla wyłączenia derywacji przy pewnym ładunku. Pod wpływem derywacji zbacza pocisk (przy lufie z gwintem prawoskrętnym) w prawo, a zboczenie to wzrasta proporcjonalnie do elewacji. Wystarczy zatem umieścić w celowniku poziomnicę poprzeczną z nachyleniem, odpowiadającym derywacji, stwierdzonej dla pewnego ładunku przy kącie podniesienia 45^0, wówczas celownik wyłącza automatycznie w przybliżeniu derywację dla tego jednego ładunku.

Lepiej jednak sporządzić kadłub celownika pochyło a to dlatego, że jeśli nachylona jest tylko poziomnica boczna, to podczas jej zgrywania za pomocą śruby nachyleń podziałka kierunkowa i poprawek przeziernika nie mierzą w płaszczyźnie poziomej, lecz skośnej, co pociąga za sobą pewną niedokładność w nadaniu kierunku.

Celownik zależny nachyla się podczas nastawiania odległości na celowniku i to podczas nastawiania dodatniego kąta położenia do przodu, a podczas nastawiania depresji — do tyłu — o kąt równy kątowi elewacji wraz z kątem położenia. Gdy chodzi o działo np. z elewacją maksymalną 80^0, celownik nachyli się do przodu maksymalnie o 80^0 od swego położenia pionowego. Ponieważ na bębnie odległości posiadamy do dyspozycji pełnych 360^0 i aby można było wykorzystać całkowity obwód bębna odległości (czytelniejsza podziałka), odnośny mechanizm skonstruowany został w ten sposób, że bęben odległości obraca się kilka razy szybciej (w danym wypadku 4 razy) od nachylenia kadłuba celownika (rys. 6). Na rys. 6, na trzonie śruby odległości H znajdują się 2 ślimaki S_1 i S_2, które zazębiają się z odpowiednimi ślimacznicami K_1 i K_2.



Rys. 6.

Ślimak S_1 z kołem ślimakowym K_1 stanowi normalne stadło, a dzięki obrotowi koła K_1 nachyla się kadłub celownika.

Ślimak S_2 łączy się ze swym kołem K_2 w sposób boczny, bo koło K_2 obraca tylko bęben odległości, tak że siła przenoszona jest nieznaczna.

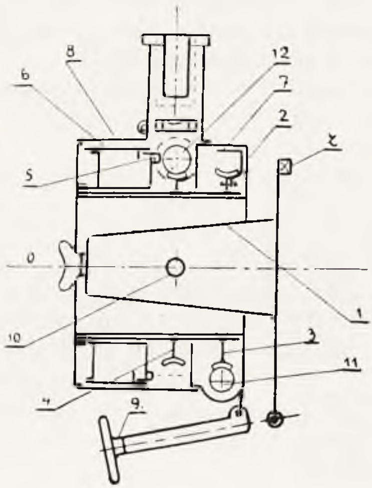
Dzięki odpowiedniemu wyborowi promieni kół K_1 i K_2 i wyborowi różnego skoku ślimaków S_1 i S_2, uzyskujemy potrzebną przekładnię ruchu.

Precyzja celownika uwarunkowana jest głównie wyłączeniem gry między ślimakiem S_1 a kołem K_1. Z tego względu S_1 przed zmontowaniem wypróbowuje się na specjalnym przyrządzie, na którym może być nastawiona dokładnie jego przyszła odległość osiowa Y w stosunku do osi koła K_1. Prócz tego śruba odległości H spoczywa w łożysku kulkowym L, które umożliwia nieznaczne wychylenie śruby H, a tym samym również ślimaków S_1 i S_2. Śruba odległości przyciskana jest przez zacisk P do zazębienia z kołem K_1, a bocznie prowadzona w wodzidle V.

W podobny sposób rozwiązana jest konstrukcja mechanizmu położenia celownika z tym, że tam odpada napęd bębna podniesienia.

Ogólna konstrukcja celownika przedstawiona jest w sposób schematyczny na rys. 7.

Czop celownika nasadzony jest na stożek czopu kołyski i zabezpieczony od obrotu występem *Z*. Przyrząd poprawek bocznych połączony jest z czopem za pomocą 2 czopów wychylenia. Na walcowej jego powierzchni spoczywają obrotowo koła zębate śruby odległości i położenia. Obok umieszczone jest kółko zębate bębna odległości z bębenkiem poprawek. Wewnętrzne urządzenie celownika chronione jest jego kadłubem i wiekiem.



Rys. 7.

1. Czop celownika. 2. Przyrząd poprawek bocznych. 3. Koło zębate śruby położenia. 4. Koło zębate śruby odległości. 5. Koło zębate bębna odległości. 6. Bęben odległości. 7. Podziałka położenia. 8. Kadłub celownika. 9. Śruba pochylenia (wyrównawcza). 10. Czopy wychylenia. 11. Śruba (ślimak) kątów położenia. 12. Śruba (ślimak) odległości.

Na skutek obrotu śruby położenia 11, która umieszczona jest w nieruchomym przyrządzie poprawek bocznych, obracają się koła 3 i 4. Połączenie między kołem 4 a śrubą odległości 12 jest takie, że śruba odległości pozostaje w spokoju, w konsekwencji czego obraca się kadłub celownika do okoła swej osi podłużnej. Z kołem 3 połączona jest podziałka położenia 7, tak że w odpowiednim okienku można odczytać setki tysięcznych kąta położenia.

Jeśli obracamy śrubę odległości 12, której łożysko znajduje się w kadłubie celownika, to koło 4 nie może się obracać, gdyż połączone jest na moc z kołem 3. Śruba odległości musi obracać się po obwodzie koła 4, wskutek czego obraca się znów kadłub celownika.

Prócz tego na skutek obrotu śruby odległości obraca się również koło bębna odległości 5 i to szybciej aniżeli kadłub celownika, tak że w odpowiednim okienku można odczytać nastawioną odległość.

Pochylenie działa wyłącza się za pomocą śruby pochylenia 9, na skutek

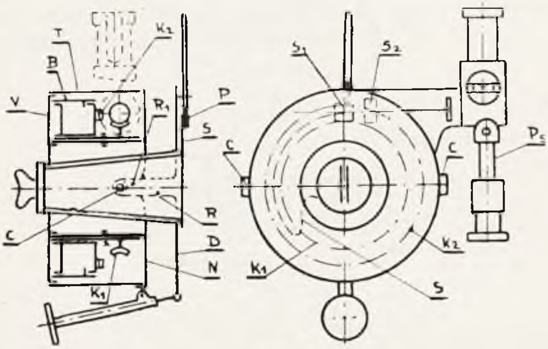
działania której obraca się przyrząd poprawek bocznych około 2 czopów wychylenia 10, których wspólna oś jest równoległa do osi lufy.

Celowniki niezależne.

Opisane wyżej celowniki zależne posiadają konstrukcję stosunkowo prostą i precyzyjną, jednak posiadają tę niedogodność, że podczas nastawiania podniesienia (nachylenia) lub kąta położenia odchylają się, i w tym celu w konstrukcji łoża działa musi być dla nich zarezerwowana wolna przestrzeń, co często powoduje pewne trudności, szczególnie u dział z dużym zakresem kątów podniesień.

W celu usunięcia tych niedogodności skonstruowano celowniki, które podczas nastawiania elewacji i depresji lub podczas elewacji lufy nie wykonują widocznych ruchów, są to tzw. celowniki niezależne (rys. 8).

Na rys. 8 przedstawiony jest schematycznie celownik, założony bezpośrednio na lewym czopie kołyski.



Rys. 8.

Czop celownika osadzony jest na stożku czopu kołyski. Czop od strony górnej przechodzi w wycinek S z płytką oporową P. Na czopie umieszczona jest obrotowo pochwa celownika D, która u góry przechodzi w ramę wskaźnika, a od spodu posiada wspornik śruby pochylenia. Z obu stron posiada 2 ramiona R czopów wychylenia C, których wspólna oś jest równoległa do osi lufy (przy ustawieniu celownika w położeniu zasadniczym i elewacji lufy = 0).

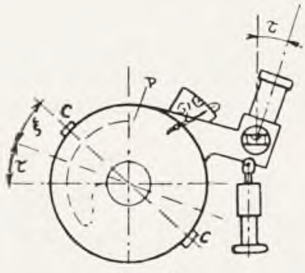
Przyrząd poprawek bocznych N przechodzi po bokach w 2 ramiona R_1 i za pomocą czopów wychylenia C zawieszony jest na pochwie celownika. Z przyrządem poprawek bocznych połączona jest ślimacznica K_1, która zazębia się ze ślimakiem S_1 śruby odległości. Ślimak S_2 (osadzony na śrubie odległości) zazębia się bocznie ze ślimacznicą K_2, która obraca bęben odległości B. Kadłub celownika T przechodzi w ramię śruby P_s kątów położenia, a w górnej części spoczywa na nim gniazdo przeziernika z poziomnicą boczną i położenia. Wnętrze celownika zamyka pokrywa V.

Działanie celownika.

Na skutek obrotu śruby położenia obraca się kadłub calownika a równocześnie z nim—przyrząd poprawek bocznych. Na skutek obrotu śruby odległości obraca się koło K_1 z przyrządem poprawek bocznych oraz koło K_2 z bębnem odległości. Schemat celownika przy nastawianiu kąta położenia i podniesienia przedstawia rys. 9.

Na rys. widać, że oś czopów wychylenia *C* wychyliła się ze swego położenia poziomego o kąt $\tau + \xi$, a gniazdo z przeziernikiem o kąt τ ze swego położenia pionowego.

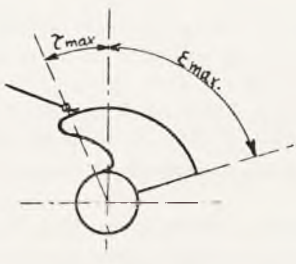
Krótsze ramię wskaźnika podniesienia oddaliło się od płytki oporowej P wycinka i na skutek działania sprężyny wychyliło się do położenia najbardziej bocznego.



Rys. 9.

Na skutek nadania podniesienia lufie płytka oporowa wycinka zbliża się do krótszego ramienia wskaźnika aż do zetknięcia się z nim, obracając wskaźnik do chwili zgrania się jego rysy z rysą na osłonie wskaźnika. W tej chwili nadana została lufie żądana elewacja.

Podczas nastawiania ujemnego kąta położenia ślizga się ramię krótsze wskaźnika po płytce walcowatej wycinka, jak widać na rys. 10.



Rys. 10.

Ponieważ może zajść wypadak, że lufie zostanie nadana elewacja maksymalna, a za pomocą śruby położenia nastawiony będzie maksymalny kąt położenia τ, płytka wycinka musi posiadać większe rozmiary łuku, aniżeli wynosi środkowy kąt ε maks. $+$ τ maks., w przeciwnym wypadku mogłoby nastąpić uszkodzenie jakiejś części.

Wyłączanie pochylenia osi kół i derywacji.

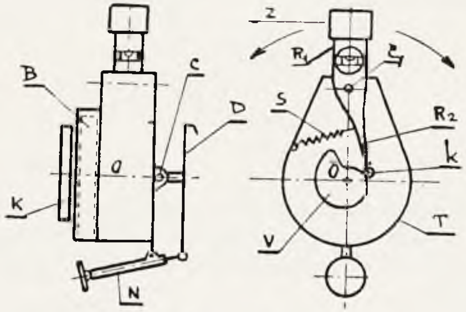
Celownik niezależny wyłącza pochylenie w podobny sposób, jak celownik zależny.

Niedogodność tych celowników polega na tym, że w porównaniu z celownikami zależnymi są bardziej skomplikowane; a następnie, że przy nastawionym kącie położenia przeziernik odchylony jest od swego położenia pionowego, na skutek

czego mierzy on boczne odchylenia z pewną niedokładnością. Na okoliczność tę należy zwrócić uwagę w regulaminach dla art., która w te celowniki jest wyposażona.

Celowniki tarczowe.

Wyrób małego celownika bębnowego, któryby odpowiadał niezbędnej precyzji, wymaga b. dokładnego wyrobu jego części składowych, co powoduje zwiększenie kosztów. Z tego względu u dział małych kalibrów mogą być zastosowane celowniki tąrczowe, które są mniej kosztowne, a poza tym wielkość ich jest proporcjonalna do wielkości działa. Zasadę takiego celownika zależnego przedstawia rys. 11.



Rys. 11.

Celownik połączony jest z lewym czopem kołyski za pomocą płyty *D*, albowiem konstrukcja tych celowników nie pozwala na nasadzenie go za pomocą czopa stożkowego.

W kadłubie celownika *T*, który na skutek działania śruby nachylenia *N* może nachylać się około 2 czopów *C*, których oś w normalnym położeniu jest pozioma, zaklinowana jest na wale obrotowym *O* tarcza *V*, bęben odległości *B* oraz pokrętło *K*.

W górnej części kadłuba celownika znajduje się czop C_1, do około którego może się obracać w kierunku strzałek górna część celownika, posiadająca 2 ramiona.

Na ramieniu R_1 umieszczone są poziomnice: położenia i boczna, a na jego szczycie osadzony jest przeziernik.

Ramię R_2 posiada na swym końcu obrotowy bloczek *k*. Na skutek działania sprężyny *S* — bloczek jest stale przyciskany do tarczy *V*.

Działanie celownika.

Podczas nastawiania kąta położenia obraca się poziomnica kątów położenia w górnym ramieniu R_1 o kąt τ. Na skutek nastawienia na celowniku odległości pochyli się ramię R_1 o kąt ξ (rys. 12).

Na skutek podniesienia lufy obraca się cały celownik aż do chwili zgrania się poziomicy kątów położenia (rys. 13). Wówczas nadana zostaje lufie żądana elewacja. W wypadku nastawienia kąta położenia przy zgranej poziomicy kątów położenia — przeziernik będzie nachylony, tak że jego mechanizm kierunkowy będzie mierzył odchylenia boczne z pewną niedokładnością.

Celowniki powyższe wyłączają automatycznie pochylenie osi kół i mogą wyłączać również derywację, podobnie jak celowniki bębnowe.

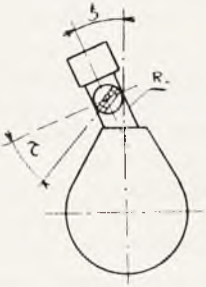
Dla łatwiejszego rozpatrywania kształtu tarczy przyjmujemy, że tarcza i bęben odległości stoją nieruchomo, a względny ruch posiada kadłub celownika. (rys. 14).

Dla uproszczenia wybieramy odległość $CS = CO$, gdzie S jest to punkt styku bloczku (rolki) z tarczą.

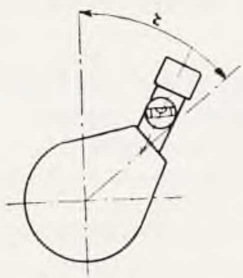
O — oś tarczy,

C — czop, około którego nachyla się górna część celownika.

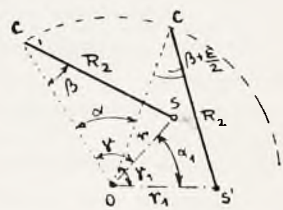
Na skutek obrotu celownika o kąt α, obróci się punkt styku bloczku o α_1.



Rys. 12.



Rys. 13.



Rys. 14.

Ponieważ istnieje zasadnicze wymaganie, by podziałka tysięczna na bębnie odległości była równomierna, zastosowanie ma równanie:

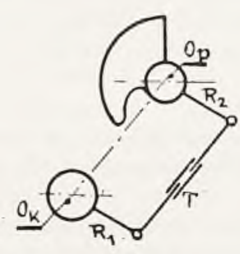
$\gamma_1 = \gamma + \alpha_1 - \alpha$, gdzie $\alpha_1 = \alpha - \frac{\varepsilon}{2}$ i odpowiedni promień $r_1 = 2\,R_2$ cos $[\gamma + \alpha_1 - \alpha]$.

Z całego obwodu tarczy można wykorzystać maksymalnie 270^0, zatem podziałka na bębnie odległości będzie w granicach $270^0 + \frac{\varepsilon}{2}$.

Dla łatwiejszego wyrobu tarczy należy poszczególne jej promienie obliczyć kolejno co 2 minuty kąta obrotu.

* * *

Niekiedv z różnych względów łoże działa jest tak skonstruowane, że celownik nasadza się na czop pomocniczy, a połączenie między celownikiem i lufą za-



Rys. 15.

O_K = oś czopu kołyski. O_p = oś czopu pomocniczego, na który nasadzany jest celownik. T = łącznica, długość której może być zmieniana podczas rektyfikacji. R_1, R_2 = ramiona, z pośród których ramię R_1 można skracać lub przedłużać.

pewnia proste urządzenie tzw. równoległobok, którego zasada przedstawiona jest na rys. 15.

Aby równoległobok dobrze przenosił ruch, R_1 musi być równe R_2, a długość T równa odległości O_p O_K.

Rektyfikacja. Wzajemne położenie poszczególnych części celownika ustalone jest przy montażu. Jednak to wzajemne położenie części zmienia się pod wpływem uderzeń i wstrząsów podczas strzelania i transportu. Musi być zatem celownik tak skonstruowany, aby możliwe było wzajemne ustawianie części celownika, co przeprowadza się podczas rektyfikacji celownika, bądź to na specjalnym przyrządzie — po zmontowaniu, bądź na właściwym dziale przed strzelaniem. *S. K.*

Zagadnienie technicznych warunków dla broni ppanc.

(„Rzeszeni nejvyhodniejszich technickych podminek pro zbranie P. U. W.") — Płk J. Gebauer

(*Vojenske Technické Zpravy* — XI i XII 1937 r. str. 247).

I. Zadania broni p-panc. i wymagania z nich wypływające.

Z zadań broni p-panc. wypływają następujące podstawowe wymagania, stawiane broni p-panc. i jej pociskom:

a) Broń p-panc. powinna nadawać swemu pociskowi jak największą początkową energię kinetyczną (E_0).

b) Pocisk p-panc. musi być skonstruowany w ten sposób, by jego energia kinetyczna podczas lotu do celu minimalnie się zmniejszała na skutek oporu powietrza, aby pocisk dysponował jak największą energią E w czasie uderzenia w cel. Odpowiednie prowadzenie pocisku w lufie powinno zapewniać stabilizację jego lotu w powietrzu.

c) Pocisk p-panc. musi być skonstruowany z odpowiedniego materiału, nadającego się najlepiej do przebicia pancerza.

Niszczące działanie pocisku po przebiciu pancerza zwiększa się na skutek jego wybuchu, który ewentualnie może przyczynić się do rozerwania pancerza, jeśli w nim nastąpi wybuch pocisku, którego energia kinetyczna dla przebicia nie była wystarczająca. Pocisk który ma być skonstruowany jako p-panc. i wvbuchowy (granat panc.) musi posiadać dostatecznie duży kaliber.

Broń p-panc. może posiadać również mały kaliber. Dlatego też specjalne pociski p-panc., zależnie od kalibru, są dwojakiego rodzaju: wśród większych kalibrów — *pancerne granaty wybuchowe*, wśród kalibrów mniejszych — *pociski pancerne.*

Broń panc. dąży do zaskoczenia przeciwnika i jak największego skrócenia czasu niebezpiecznego, kiedy to ona na przedpolu obrońcy mogłaby być celem jego broni p-panc. Broń p-panc., która ma spełnić swe zadanie w krótkim czasie, jakim dysponuje, musi strzelać na wprost. Z tego względu musi ona nadawać się — bez zwracania specjalnej uwagi — do umieszczenia jej w rzucie czołowym pozycji obronnej lub w najbliższej dogodnej pozycji, położonej za nią. W konsekwencji tego musi ona pozwalać na łatwe jej ukrycie, by nie uległa zniszczeniu już przed rozpoczęciem swego działania.

Wyłania się stąd dalsze wymaganie stawiane broni pp-anc.

d) Broń p-panc. musi być lekka (łatwo przenośna) i mała (łatwe ukrycie).

Wymaganie powyższe koliduje z wymaganiem pod a), gdyż im jest broń lżejsza, tym mniejsza jest jej początkowa energia kinetyczna. Zachodzi więc konieczność kompromisu między obu tymi wymaganiami.

Broń p-panc. o większej mocy z dużą energią E_0 jest cięższa i nie będzie można jej przewozić aż do 1. rzutu pozycji obronnej i tam ją ukrywać. Jednakże pociski tej broni są w możności przebijać pancerz na dalszych odległościach aniżeli pociski broni o mniejszej mocy. Wydaje się zatem, że broń o większej mocy może być umieszczona w tyle, na odległości uzyskanej dzięki powiększeniu siły przebijającej jej pocisków. Pozwalałoby to również na lepsze ukrycie tej broni. Jednakowoż broń p-panc. musi strzelać na wprost, a tory jej pocisków są bardzo płaskie. Powstaje tu trudność, a najczęściej niemożliwość znalezienia za 1. rzutem takiego stanowiska, któreby pozwalało nie tylko na strzelanie na wprost, lecz również na strzelanie przez przerwy lub ponad głowami oddziałów własnych.

Z powyższego wynika, że broń p-panc., umieszczona za 1. rzutem pozycji obronnej, zazwyczaj nie będzie mogła przeszkadzać nacierającej broni panc. w przekroczeniu 1. rzutu, lecz dopiero w przekroczeniu pewnej linii położonej za nim; chyba że bez względu na bezpieczeństwo oddziałów własnych strzelać będzie do n-pla ponad głowami lub przez przerwy tych oddziałów.

Stąd wynika dalsze wymaganie ogólne:

e) Broń p-panc. musi nadawać się do łatwego umieszczenia w czołowym rzucie pozycji obronnej lub na najbliższej dogodnej pozycji za nią, by była w możności przeszkodzić nacierającej broni panc. w przekroczeniu pewnej określonej linii.

Jeśli tą określona linią jest już 1. rzut pozycji obronnej, to broń p-panc. musi być umieszczona wprost na niej, tj. 1. rzut piechoty musi być wyposażony w odpowiednią broń p-panc. lekką i małą, łatwo przenośną i dającą się łatwo ukryć w 1. rzucie.

Jeśli natomiast omawiana linia znajduje się za 1. rzutem pozycji obronnej, to należy jej bronić przy pomocy broni p-panc. o większej mocy, a więc cięższej i większej.

Ta broń p-panc. 2. rzutu wejdzie do akcji po przekroczeniu 1. rzutu obrony przez nieprzyjacielską broń panc.

Ogień broni p-panc. rzutu 2. będzie również bardzo zagrażał własnym oddziałom w 1. rzucie, jednakże tego brać pod uwagę nie można.

Broń 1. rzutu jest ważniejsza aniżeli broń rzutu 2. a to z tego względu, że nie wystawia ona 1. rzutu pod groźbę nie tylko n-pla, ale i własnego ognia obrony. Broń 2. rzutu jest tylko odwodem, który ma powstrzymać broń panc. n-pla po przełamaniu przez niego 1. rzutu.

Broń p-panc. musi odpowiadać swemu zadaniu. Kierowanie nią i celowanie musi być łatwe i szybkie. Broń ta musi być szybkostrzelna, stąd też dalsze wymaganie:

f) Broń p-panc. musi być samoczynna lub conajmniej półautomatyczna z łatwym i szybkim nastawianiem i celowaniem bezpośrednim.

Broń p-panc. będzie strzelać na małe odległości: Ogień do wozów panc. na odległościach ponad 500 m (broń 1. rzutu) lub na odl. ponad 1000 m (broń 2. rzutu) będzie należał do wyjątków.

Z tego wynika dalsze wymaganie:

g) W specjalnej broni p-panc, należy liczyć się tylko z bardzo krótkimi odległościami strzelania, na których płaski kształt toru pocisków p-panc. jest nieomal linią prostą.

Oceniając sprawność broni należy zwrócić uwagę nie tylko na jej początkową energię kinetyczną E_0, lecz również na stosunek $\frac{E_0}{H}$, w którym H oznacza ciężar lufy.

Stosunek $\frac{E_0}{H}$ nazywamy *wykorzystaniem materiału lufy.*

W dotychczasowej (znanej autorowi) broni, która mogłaby być wzięta pod uwagę jako broń p-panc., stosunek $\frac{E_0}{H}$ waha się w granicach od 234 — 297 mkg/kg, a więc jest on stosunkowo dość stały, przeciętnie ok. 266 mkg/kg. Oznacza to: jeśli żądana jest energja E_0 mkg, to możemy oczekiwać, że lufa jej będzie ważyć zgrubsza około

$$H = \frac{E_0}{266} \text{ kg.} \tag{1}$$

Skuteczność działania broni — to ilość mkg początkowej energii kinetycznej pocisków wystrzelonych w ciągu minuty, dana iloczynem nE_0.

Biorąc pod uwagę również ciężar B broni na stanowisku ogniowym oraz ciężar A amunicji (włącznie z odpowiednią ilością magazynków, taśm itp.) potrzebnej do oddania n strzałów, a więc ogólny ciężar $(B + A)$, który trzeba przewieźć na stanowisko ogniowe dla oddania n strzałów wycelowanych, otrzymamy *skuteczność właściwą działania broni* przez stosunek:

$$I = \frac{n\,E_0}{B + A},$$

który mówi, ile początkowej energii kinetycznej wydaje broń w ciągu 1 min. na 1 kg przewożonego ciężaru (sprawność broni).

Stosunek I wynosi u zwykłego c. k. m. kal. 7,92 mm ok. 1900 mkg/kg, u c. k. m. 20 mm Oerlikon — ok. 1600 mkg/kg, a w broni p-panc. o kalibrze większym spada niżej.

II. Właściwości balistyczne pocisków broni p-panc.

Rozmiar kalibrów broni p-panc. jest wogóle mały (poniżej 50 mm). Granaty panc. posiadają wymiary 15 mm $\leqq$ a $\leqq$ 50 mm, pociski panc. — a $\leqq$ 20 mm.

Gdy najbardziej odpowiedni kształt i konstrukcja wewnętrzna pocisku p-panc. dla danego kalibru ustalone zostały drogą doświadczalną, to można przyjąć, że dla innych pobliskich kalibrów pocisków tego samego rodzaju nie ulegają one zmianie.

Oznacza to, że porównywane pociski różnych kalibrów a i a', tego samego rodzaju są do siebie podobne, a więc posiadają ten sam współczynnik kształtu i, a ich ciężary p oraz p' dane są równaniami:

$$p = k\,a^3,\ p' = k\,a'^3 \tag{2}$$

gdzie k — wielkość stała.

W rzeczywistości u pocisków broni p-panc. dla pocisków panc. waha się k w granicach

$0{,}018 \leq k \leq 0{,}023$, przeciętnie $k_1 = 0{,}021$,

dla granatów panc. waha się k w granicach

$0{,}0159 \leq k \leq 0{,}0175$, przeciętnie $k_2 = 0.0165$,

przy obliczaniu a w cm, p w kg.

Z powyższego — dla tego samego rodzaju pocisków — wynika współczynnik balistyczny

$$c = \frac{ia^2}{p} \Delta = \frac{ia^2}{ka^3} \Delta = \frac{K}{a}, \qquad (3)$$

$$\text{gdzie } K = \frac{i\Delta}{k} = \frac{1{,}211 \,.\, i}{k}, \text{ dla } \Delta = 1{,}211 \text{ kg/m}^3. \qquad (4)$$

A zatem K waha się:

— u pocisków panc. w granicach $0{,}002115 \leq K \leq 0{,}002145$, przeciętnie $K_1 = 0{,}00213$;

— u granatów panc. w granicach $0{,}00389 \leq K \leq 0{,}00396$, przeciętnie $K_2 = 0{,}00392$.

Ze wzoru (3) widać, że pocisk pokonuje opór powietrza tym lepiej, im większy jest jego kaliber.

Z porównania wartości k_1, k_2 lub K_1, K_2 widać, że pociski panc. posiadają o wiele większy ciężar właściwy, są cięższe i posiadają prawie 2 razy korzystniejszy współczynnik balistyczny niż granaty panc. tego samego kalibru.

III. Lot pocisku w powietrzu.

Szybkości początkowe i pozostałe pocisków broni p-panc. powinny być stosunkowo duże, ponad 400 m/sek. Dla tych dużych szybkości ma zastosowanie prawo oporu powietrza $F(v) = \beta v^2 = f(v)\, v^2$, gdzie $\beta = f(v)$ dla szybkości v zmieniającej się w granicach od 400 — 1200 m sek. ulega stosunkowo małym zmianom, pozostając w granicach $0{,}39 > \beta > 0{,}30$, przy czym wartość maksymalna 0,39 odpowiada szybkości v ok. 500 m/sek. Przy szybkości v wzrastającej od 500 — 1200 m/sek β stale się zmniejsza, lecz co raz to wolniej, tak że można przypuszczać, iż w niezbadanej skali szybkości większych ponad 1200 m/sek β pozostaje wielkością prawie stałą = ok. 0,3.

Obliczając krótki, prawie że poziomy tor pocisku broni p-panc., możemy pisać $F(v) = \beta\, v^2$ tym bardziej, gdy wybierzemy $\beta = f(v_s)$, gdzie $v_s = \frac{1}{2}(v_0 + v_u)$; v_u = szybkość pocisku w chwili uderzenia w pancerz.

Na torze opór powietrza wpływa na pocisk hamująco:

$$\frac{dv}{dt} = -\, cF(v) = -\, c\,\beta\, v^2 = \frac{v\, dv}{dx}$$

Stąd wynika $\frac{dv}{v} = -\, c\,\beta\, dx$,

zatem

$$ln \frac{v_0}{v} = c\,\beta\, x, \text{ czyli } v = v_0\, e^{-c\,\beta\, x} \qquad (5)$$

Równanie (5) wyraża, jak zmniejsza się szybkość v pocisku broni p-panc. wzdłuż jego krótkiego, prostego i poziomego toru x.

Współczynnik β może być uważany za stały również w wypadku porównywania różnych torów i różnych pocisków broni p-panc.

Weźmy 2 rodzaje broni o różnych kalibrach a, a', nadające swym pociskom tę samą początkową energię kinetyczną $E_0 = E_0'$. Pociski są tego samego rodzaju, więc $p = ka^3$, $p' = ka'^3$, $c = \frac{K}{a}$, $c' = \frac{K}{a'}$.

Z równości

$$E_0 = E_0' \text{ wynika } pv_0^2 = p'v'^2_0 \tag{6}$$

albo

$$\left(\frac{a'}{a}\right)^3 = \left(\frac{v_0}{v'_0}\right)^2 \tag{7}$$

Obliczmy, w jakim stosunku $\mu = \frac{v'}{v}$ znajdą się szybkości tych obu pocisków w dowolnej odległości x od wylotu, gdy $a' < a$.

Z równań $v = v_0 e^{-c\beta x}$; $v' = v'_0 e^{-c'\beta x}$ otrzymamy

$$\mu = \frac{v'_0}{v_0} e^{-x\beta(c'-c)},$$

stąd widzimy, że stosunek $= \frac{v'}{v}$ począwszy od swej wartości początkowej $\mu_0 = \frac{v'_0}{v_0} = \left(\frac{a}{a'}\right)^{1,5}$ stale się zmniejsza, jednak stale jest większy od jedności bez względu na wielkość x (dopóki β jest stałe). W ten sposób wyprowadzamy prawo:

Na obu porównywanych krótkich torach (odpowiadających tej samej początkowej energii kinetycznej $E_0 = E_0'$) na dowolnej odległości x od broni — mniejszy pocisk posiadać będzie szybkość większą aniżeli pocisk większy.

Z powyższego następnie wynika, że pewną dowolną odległość x przebywa pocisk mniejszy w czasie krótszym aniżeli pocisk większy. Krótkotrwałość lotu pocisku posiada tu znaczenie, gdyż chodzi o trafienie celu *ruchomego*.

Z równania (5) wynika, że energia kinetyczna pocisku E na jego torze poziomym x spada wg wzoru

$$E = E_0 e^{-2c\beta x}.$$

Ponieważ opór powietrza hamuje mniejszy pocisk więcej, energia kinetyczna pocisku mniejszego — począwszy od swej wartości początkowej $E'_0 = E_0$ — będzie spadać szybciej aniżeli przy pocisku większym.

Obliczmy teraz, w jakim stosunku będą różne drogi x, x' obu pocisków, jeśli na końcu tych dróg oba pociski posiadać będą tę samą energię kinetyczną

$$E = \frac{p\,v^2}{2g} = E' = \frac{p'\,v'^2}{2g}.$$

Z równości $p\,v^2 = p'\,v'^2$ oraz z równania (5) wynika:

$$p\,v_0^2\,e^{-2\,c\,\beta\,x} = p'\,v_0'^2\,e^{2\,c'\,\beta\,x'},$$

czyli

$$\frac{x}{x'} = \frac{c'}{c} = \frac{a}{a'}. \tag{8}$$

A zatem drogi x, x', na początkach których, lub na końcach, oba pociski posiadają jednakową energię kinetyczną E_0 lub E_1, odnoszą się w stosunku kalibrów a, a' obu pocisków.

Balistyka w tym wypadku przemawia na korzyść pocisku większego. Jednakże dla spełnienia zadania głównego pocisku broni p-panc., tj. dla przebicia pancerza nie decyduje wielkość energii uderzeniowej pocisku.

Przykład 1. $a = 20$ mm, $v_0 = 830$ m/sek, $k = 0{,}021$, $K = 0{,}00213$, $a' = 15$ mm

Stąd $p = 0{,}021 \,.\, 2^3 = 0{,}168$ kg, $p' = 0{,}021 \,.\, 1{,}5^3 = 0{,}071$ kg, $c = \frac{0{,}00213}{2} =$ $= 0{,}001065$, $c' = \frac{0{,}00213}{1{,}5} = 0{,}00145$, $E_0 = \frac{p\,v_0^2}{2\,g} = \frac{0{,}168 \,.\, 830^2}{19{,}62} = 5899$ mkg $= E_0'$; $v_0' = v_0 \left(\frac{a}{a'}\right)^{1{,}5} = 830 \,.\, \left(\frac{2}{1.5}\right)^{1{,}5} = 1277{,}8$ m/sek.

Jakie szybkości v, v' i jakie energie E, E' posiadać będą te oba pociski na odległościach

a) $x = 500$ m; b) $x = 1000$ m przed wylotem lufy?

Według równania (5) jest

$$\log v = \log v_0 - c\,\beta\,x \,.\, 0{,}4343.$$

a) Dla $x = 500$ m:

$v_s = 750$ m/sek, zatem [1]) $\log \beta = \log f(750) = 1{,}5241$,

$v_s = 1100$ m/sek, zatem $\log \beta' = \log f(1100) = 1{,}4761$.

Następnie obliczymy $v = 695$ m/sek, $v' = 1028$ m/sek.

W wypadku przyjęcia dla obu tych torów jednakiej wartości $\log \beta = 1{,}5001$, otrzymamy $v = 701$ m/sek, $v' = 1016$ m/sek; wartości te nie wiele różnią się od uprzednio obliczonych.

Odpowiednie energie kinetyczne będą:

$$E = \frac{p\,v^2}{2g} = \frac{0{,}168 \,.\, 695^2}{19{,}62} = 4132 \text{ mkg} = 0{,}7004\, E_0,$$

$$E' = \frac{p'v'^2}{2\,g} = \frac{0{,}071 \,.\, 1028^2}{19{,}62} = 3821 \text{ mkg} = 0{,}6478\, E_0.$$

Energia pocisku 15 mm spadłaby do wartości 4132 mkg już na odległości $x' = x\,\frac{a'}{a} = 500\,\frac{1{,}5}{2} = 375$ m.

W przeciwieństwie do tego pocisk 20 mm posiadałby energię 3821 mkg jeszcze na odległości $500\,\frac{2}{1{,}5} = 666$ m.

---

[1]) Dufrénois — Balistique extérieure 1921.

b) Dla $x = 1000$ m i dla wartości tych samych:
$\log \beta = 1{,}5241$, $\log \beta' = 1{,}4761$ (podobnie jak w wypadku a) otrzymamy $v = 581$ m/sek. $v' = 828$ m/sek; $E = 2890$ mkg $= 0{,}49\ E_0$; $E' = 2482$ mkg $= 0{,}42\ E_0$.

IV. Przebijanie pancerza.

A) Według niektórych wzorów — dla przebijalności pocisku decydującą jest *energia właściwa uderzenia pocisku*, tj. kinetyczna energia uderzeniowa, przypadająca na 1 cm^2 jego przekroju poprzecznego.

Porównajmy 2 strzały posiadające jednakową początkową kinetyczną energię $E_0 = E_0'$, pociski tego samego rodzaju (k, K) a różne kalibry a, a'.

U wylotu obu porównywanych broni energie właściwe ich pocisków są:

$$\sigma_0 = \frac{4\ E_0}{\pi\ a^2}\ ,\ \sigma_0' = \frac{4\ E_0}{\pi\ a'^2}\ ,$$

a więc $$\frac{\sigma_0}{\sigma_0'} = \left(\frac{a'}{a}\right)^2, \tag{9}$$

czyli że początkowe energie właściwe obu pocisków są odwrotnie proporcjonalne do kwadratów z ich kalibrów.

Do pewnej odległości x_1 od wylotu broni mniejszy pocisk będzie posiadał większą energię właściwą aniżeli pocisk większy. Energia E' pocisku mniejszego zmniejsza się jednak szybciej aniżeli energia E pocisku większego i na odległości x_1 będzie

$$\sigma_1 = \sigma_1', \text{ to jest } p\ .\left(\frac{v_1}{a}\right)^2 = p'\left(\frac{v_1}{a'}\right)^2.$$

Po wstawieniu zamiast $p = ka^3$, $p' = ka'^3$, otrzymamy

$$\frac{v_1}{v_1'} = \sqrt{\frac{a'}{a}}\ .$$

Oznacza to, że na odległości x_1, na której oba pociski posiadają jednakową energię właściwą $\sigma_1 = \sigma_1'$, ich szybkości v_1, v_1' będą w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do drugiego pierwiastka z ich kalibru. Przy użyciu równania (5) otrzymamy

$$\frac{pv_0}{a^2}\ .\ e^{-2\,c\,\beta\,x_1} = \frac{p'v_0'^2}{a'^2}\ .\ e^{-2\,c'\,\beta'\,x_1}\ .$$

Ponieważ jednak $p\,v_0^2 = p'\,v_0'^2$, otrzymamy wynik

$$a'\ .\ e^{c'\,\beta'\,x_1} = a\ .\ e^{c\,\beta\,x_1}$$

z czego obliczymy szukaną odległość

$$x_1 = \frac{\log\ a - \log\ a'}{0.4343\ (c'\,\beta' - c\,\beta)} \tag{10}$$

Przykład 2. Dla pocisku 20 mm — $\sigma_0 = \dfrac{4.5899}{\pi\ .\ 2^2} = 1878$ mkg/cm^2; dla pocisku

15 mm — $\sigma_0' = \frac{4,5899}{\pi \cdot 1,5^2} = 3338$ mkg/cm² biorąc $\log \beta' = \log \beta = 1,5$ otrzymamy $x_1 = 2362$ m, czyli odległość znacznie większą niż stosowana przy strzelaniu do czołgów.

B) Przy obliczaniu siły przebijania pocisku używa się często wzoru empirycznego Jakóba de Marre. Wg niego pocisk o kalibrze a cm a ciężarze p kg, mający w sposób prostopadły przebić pancerz grubości t mm, musi uderzyć w niego z szybkością większą lub conajmniej równą tzw. szybkości krytycznej v, która dana jest wzorem

$$v = \varkappa \frac{a^{0.75}}{p^{0.5}} \cdot t^{0.7}, \tag{11}$$

w którym współczynnik $\varkappa$ charakteryzuje tak materiał pancerza, jak i zdatność konstrukcji pocisku do przebicia pancerza.

Wzór (11) może być też napisany w formie następującej:

$$\frac{pv^2}{2g\, a^{1.5}} = \frac{\varkappa^2}{2\, g} \cdot t^{1.4}; \text{ lub } \frac{E}{a^{1.5}} = q \cdot t^{1.4} = \Omega \tag{12}$$

gdyż $\frac{pv^2}{2\, g} = E$, a stała $\frac{\varkappa^2}{2\, g} = q$ odpowiadająca danemu pociskowi i danemu materiałowi pancerza. Iloczyn $q \cdot t^{1.4}$ oznaczony został Ω; charakteryzuje on *odporność pancerza* na pocisk danej konstrukcji.

Ponieważ na krótkiej poziomej drodze jest $E = E_0 \cdot e^{-2c\beta x} = E_0\, e^{\frac{-2K\beta x}{a}}$ z równania (12) otrzymamy

$$a^{1.5} \cdot e^{\frac{2K\beta x}{a}} = \frac{E_0}{\Omega} = \mathrm{P}, \tag{13}$$

gdzie *stosunek* $\mathrm{P} = \frac{E_0}{\Omega}$ *oznacza ilość mkg początkowej energii kinetycznej, przypadającej na jednostkę odporności pancerza.*

Z równania (13) obliczymy

$$x = \frac{a}{2K\beta}\,[\ln \mathrm{P} - 1,5 \ln a] = \frac{a}{0.8686\, K\beta}\,(\log \mathrm{P} - 1.5 \log a). \tag{13'}$$

Równanie (13') daje odległość siły przebijania x, tj. maksymalną odległość, z której pocisk danego rodzaju i danego kalibru a przebije pancerz, gdy na jednostkę jego odporności przypada P *mkg początkowej energii kinetycznej pocisku.*

Dla pewnej wartości P równanie (13') oznacza, w jaki sposób zmienia się odległość siły przebijania, jeśli zmienia się kaliber a.

Przy danej wartości P ustalimy odległość x_2, na której pocisk mniejszego kalibru a' będzie posiadał większą siłę przebijania aniżeli pocisk o kalibrze większym a, jeśli oba pociski posiadają jednakową początkową energię kinetyczną $E_0 = E_0'$.

Z równania (13) dla $x = 0$ wypływa odporność pancerza $\Omega_0 = E_0 \cdot a^{-1.5}$, który może przebić pocisk o kalibrze a z początkową energią kinetyczną E_0 bezpośrednio przed wylotem broni ($x = o$). Jeśli porównamy te dwa pociski o różnych kalibrach a, a' z jednakową początkową energią kinetyczną $E_0 = E_0'$, to otrzymamy

$$\frac{\Omega_0}{\Omega_0'} = \left(\frac{a'}{a}\right)^{1.5} \tag{14}$$

Z równania (14) wynika, że *na pewnej odległości x_2 od broni pocisk mniejszy posiada większą siłę przebijania od pocisku większego.* Odległość x_2 nie dotyczy jednakowego pancerza (Ω) i jednakowej początkowej energii kinetycznej obu porównywanych pocisków, lecz odnosi się do jakichkolwiek wartości Ω, E_0, jeśli tylko stosunek ich P pozostaje ten sam.

Dla jednakowych wartości P, x_2 i dla różnych wartości a, c, β oraz a', c' β' z równań (13) i (3) otrzymamy $a^{1.5} \cdot e^{2c\beta x_2} = P = a'^{1.5} \cdot e^{2c'\beta' x_2}$

$$\text{zatem } x_2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{\log a - \log a'}{0.4343\ [c'\beta' - c\beta]} = \frac{3}{4}\, x_1, \tag{15}$$

gdzie x_1 dane jest równaniem (10).

Odległość x_2, na której pocisk mniejszy posiada większą siłę przebijania aniżeli pocisk większy, równa się wg Jakóbą de Marre'a 3/4 odległości x_1, wyprowadzonej w założeniu o równości właściwej kinetycznej energii uderzeniowej.

P*rzykład 3.* Według danych przykładu 2-go, otrzymamy $\Omega_0' = 1.54\ \Omega_0$; $x_2 = \frac{3}{4}\ 2362 = 1772$ m.

C) *Wykorzystanie próbnych strzelań p-panc. dla oceny różnych założeń teoretycznych lub dla uzyskania nowych wzorów odpowiadających najlepiej wynikom doświadczeń.*

O tym, czy dla siły przebijania decydująca jest właściwie energia kinetyczna pocisku, czy wzór Jakóba de Marre'a, oraz jakie wartości stałe należą do danego pancerza, rozstrzygać mogą tylko próbne strzelania p-panc. i porównanie ich wyników z obliczeniami.

Jeśli żaden z użytych wzorów nie będzie mógł być zastosowany, wówczas z wyników próbnych należy wyszukać nowy wzór empiryczny, możliwie jak najbardziej prosty i dający wyniki jak najbardziej zbliżone do wyników doświadczalnych.

W celu ograniczenia ilości (a tym samym i kosztów) prób z pancerzami różnej jakości i grubości oraz z pociskami różnych kalibrów i rodzajów, należy poprzestać na próbach następujących:

a) na najmniejszej ilości różnej jakości opancerzenia używanego w broni panc.,

b) na ok. 4 różnych grubościach pancerza np. 15, 30, 45, 60 mm,

c) tylko na dwóch rodzajach pocisków (pociski panc. i granaty panc.),

d) tylko na kalibrach bieżących np. 7,92; 15; 20; 30; 40 mm.

Próby możemy wykonać tylko dla początkowych szybkości użytych broni i ich pocisków, przy czym szybkości mniejsze uzyskamy przez redukcję ładunków prochowych.

Jeśli wybierzemy np. 2 różne gatunki pancerza o 4 grubościach: t_1, t_2, t_3, t_4 oraz 4 różne kalibry a, a', a'', a''', odpowiednie dla nich szybkości krytyczne oznaczamy jak w poniższej tabelce:

Kal.	Grubość pancerza			
	t_1	t_2	t_3	t_4
a	v_1	v_2	v_3	v_4
a'	v_1'	v_2'	v_3'	v_4'
a''	v_1''	v_2''	v_3''	v_4''
a'''	v_1'''	v_2'''	v_3'''	v_4'''

Dla wybranych 2 gatunków pancerza i 2 rodzajów pocisków otrzymamy w ten sposób ogółem 4 podobne tabelki. Odnotowane w nich średnie szybkości stwierdzone zostały w strzelaniu próbnym. *Zdolność przebijającą S pocisku* charakteryzujemy równaniem

$$S = z \frac{E}{a^m}, \tag{16}$$

w którym z = współczynnik zdolności przebijającej pocisku, $E = \frac{pv^2}{2g}$ = uderzeniowa energia kinetyczna pocisku, a = kaliber pocisku, m = wykładnik, który mamy stwierdzić.

Współczynnik z zależy jedynie od pocisku, tj. od jego konstrukcji i od jakości materiału, z którego jest pocisk sporządzony, nie zależy natomiast ani od jakości pancerza ani od jego grubości.

Pociski jednakowej konstrukcji, wykonane z jednakowych materiałów, posiadają jednakowy współczynnik z — pomimo różnic w kalibrach, ciężarach i szybkościach.

Odporność przebitego pancerza charakteryzujemy równaniem

$$\Omega = qt^n \tag{17}$$

w którym q = współczynnik jakości panc., t = grubość pancerza.

Jeśli pocisk w chwili uderzenia o pancerz posiada szybkość krytyczną v, to jego zdolność S równa się odporności pancerza Ω, a z równości $S = \Omega$ otrzymamy

$$z \frac{E}{a^m} = q\, t^n, \tag{18}$$

Jeżeli wybierzemy jeden z porównywanych rodzajów pocisków (np. granat panc.) jako wzorzec porównawczy, możemy dla niego wybrać $z = 1$; w ten sposób otrzymamy

$$\frac{E}{a^m} = q\, t^n = \Omega, \tag{18'}$$

a dla drugiego rodzaju pocisku ma zastosowanie równanie (18).

Równanie (18) jest uogólnieniem dwóch wypadków omawianych w poprzednich ustępach A) [dla $m = 2$]; B) [dla $m = 1.5$], o czym się zaraz przekonamy.

W ustępie A) [dla $m = 2$] zdolność przebijającą pocisku tego samego rodzaju określona została właściwą energią kinetyczną $\sigma = E : \frac{\pi a^2}{4}$. Stąd dla pocisku wzorcowego wynika:

$$\frac{E}{a^2} = \frac{\pi}{4}\sigma = \Omega . \tag{18 A}$$

W ustępie B) [dla $m = 1.5$] uwzględniliśmy równanie (12), które stanowi tylko pewien wypadek równania ogólniejszego (18′), mającego zastosowanie dla pocisku wzorcowego.

Na podstawie wyników osiągniętych w strzelaniach próbnych chcemy się przekonać, czy lepiej odpowiada $m = 2$, czy $m = 1.5$, ewentualnie, jaka inna wartość m odpowiada najlepiej.

Jeśli $m = 2$, to dla każdej stwierdzonej szybkości krytycznej v obliczymy odpowiednią wartość $\frac{E}{a^2} = \frac{pv^2}{2g\, a^2} = \frac{q}{z} \cdot t^n$ i porównamy, czy dla próbowanych jednakowych rodzajów pocisków (z) oraz dla pancerzy jednakowej jakości (q) i jednakowej grubości (t) przy różnych kalibrach a, a', a'', a''', otrzymamy możliwie jednakowe ilorazy $\frac{E}{a^2} = \frac{q}{z} \cdot t^n$.

Porównanie wykonane doświadczalnie przez autora wykazuje, że $m = 2$ nie odpowiada, gdyż ilorazy $\frac{E}{a^2} = 624$, $\frac{E'}{a'^2} = 733$ — bardzo się różnią.

Dla wypróbowania wzoru Jakoba de Marre'a ($m = 1{,}5$, $n = 1{,}4$) obliczymy z równania (12) wartości

$$q = \frac{E}{a^{1.5} \cdot t^{1.4}} = \frac{pv^2}{2\, g^{1.5} \cdot t^{1.4}}$$

dla każdej stwierdzonej szybkości krytycznej v i porównamy, czy dla próbowanych jednakowych rodzajów pocisków (z) i dla pancerzy jednakowej jakości lecz różnych grubości t_1, t_2 . . . i przy strzelaniach różnymi kalibrami a, a' . . . otrzymamy ten sam współczynnik jakości q.

Porównanie, dokonane dla trzech pancerzy tejże jakości i różnych 3 grubości t_1, t_2, t_3 oraz dla 2 kalibrów a, a', dało wartości podane w poniższej tabelce. Oznaczone są w niej szybkości krytyczne v_p, otrzymane drogą doświadczalną, oraz szybkości krytyczne teoretyczne v_t, obliczone ze wzoru (11) ze średnią wartością q. Następnie odnotowane są w tabelce różnice ($v_p - v_t$) między szybkościami doświadczalnymi a teoretycznymi.

Z powyższego porównania widzimy, że wzór Marre'a odpowiada dość dobrze, gdyż poszukiwane 4 różne wartości q wzajemnie zbytnio się nie różniły. Wartości dwóch różnic $v_p - v_t$ (+ 12,2, — 13,5) są jednak dość duże. [1]

---

[1]) Wzór de Marre'a dotyczył pancerzy dawniejszych o gorszej jakości od dzisiejszych.

Grubość panc.	t	t_1	t_2	t_3
Kaliber	a	a'	a''	a'''
vp	405	484	469	538
vt	403'5	471'8	471'7	551'5
$vp - vt$	+ 1'5	+ 11'2	— 2'7	— 13'5

W dalszym ciągu—na podstawie wyników doświadczalnych — obliczymy najbardziej odpowiadające wartości współczynników z, q i wykładników m, n, które— użyte w równaniu (18)—dają nam teoretyczne szybkości krytyczne v, najmniej różniące się od szybkości krytycznych vp, obliczonych doświadczalnie. Oznacza to, że ***z wyników doświadczalnych wyprowadzimy nowy wzór przebijalności odpowiadający najlepiej z pośród wzorów innych.***

Jeden z obu porównywanych rodzajów pocisków uczynimy wzorcowym, tj. jego współczynnik zdolności przebijającej przyjmujemy jako równy 1; dla innego rodzaju pocisków szukamy współczynnika zdolności z.

Poszukiwane współczynniki jakości obu porównywanych rodzajów pancerzy oznaczamy q_1, q_2.

Zależnie od rodzaju pocisku i jakości pancerza użyjemy jednego z następujących 4 równań

$$E_1 = a^m \, q_1 \, t^n \,, \qquad z \,.\, E_{z_1} = a^m \, q_1 \, t^n \,;$$
$$E_2 = a^m \, q_2 \, t^n \,, \qquad z \,.\, E_{z_2} = a^m \, q_2 \, t^n \,. \qquad (19)$$

Przy porównaniu różnych rodzajów pocisków tego samego kalibru a i ich energii kinetycznych E_1, E_{z_1} ewent. E_2, E_{z_2}, niezbędnych do przebicia tego samego pancerza ($q_1 \, t^n$, lub $q_2 \, t^n$) otrzymamy w równaniach (19) te same wartości $a^m \, q_1 \, t^n$, ewent. $a^m \, q_2 \, t^n$, więc $E_1 = z \,.\, E_{z_1}$ albo $E_2 = z \,.\, E_{z_2}$, skąd wynika

$$z = \frac{E_1}{E_{z_1}}, \quad \text{albo} \quad z = \frac{E_2}{E_{z_2}}. \qquad (20)$$

Za pomocą równań (20) obliczymy z wyników doświadczalnych kilka różnych wartości z. Jeżeli będą one w przybliżeniu jednakowe, uzasadnione jest przypuszczenie, że zdolność przebijania pocisków może być charakteryzowana współczynnikiem z, niezależnym od kalibru i jakości pancerza, a zależnym jedynie od rodzaju pocisku (jego konstrukcji i materiału).

Z tak obliczonych wartości z otrzymamy szukany średni współczynnik zdolności z.

Następnie przy porównaniu różnych jakości pancerzy jednakowej grubości t, przebitych pociskami jednakowego rodzaju i kalibru a, otrzymamy w równaniach

(19) jednakowe wartości $a^m t^n$, ewent. $z^{-1} a^m t^n$; zatem $\frac{E_1}{q_1} = \frac{E_2}{q_2}$, albo $\frac{Ez_1}{q_1} = \frac{Ez_2}{q_2}$, skąd obliczymy stosunek

$$\varkappa = \frac{q_2}{q_1} = \frac{E_2}{E_1}, \text{ albo } \varkappa = \frac{q_2}{q_1} = \frac{Ez_2}{Ez_1} \tag{21}$$

Za pomocą równań (21) obliczymy z wyników doświadczalnych szereg stosunków

$$\varkappa = \frac{q_2}{q_1}.$$

Jeśli okaże się znowu, że są one w przybliżeniu jednakowe, uzasadni to przypuszczenie, iż jakość pancerza może być charakteryzowana współczynnikiem q, niezależnym od pocisku, a przez określenie wartości średniej otrzymamy szukany stosunek współczynników jakości:

$$\varkappa = \frac{q_2}{q_1}.$$

W dalszym ciągu ustalamy najbardziej odpowiadające wykładniki m, n oraz współczynnik jakości q_1 — za pomocą rachunku wyrównania, użytego w równaniu kształtu

$$m A + n T + Q - B = 0, \tag{22}$$

które otrzymamy przez logarytmowanie równań (19), przy czym oznacza

$A = \log a$ (dla $a = a, a', a'', a'''$),
$T = \log t$ (dla $t = t_1, t_2, t_3, t_4$),
$Q = \log q_1$,
$B = \log E_1$ lub $\log z\, Ez_1$, lub $\log \frac{E_2}{\varkappa}$, albo

$$\log \frac{z\, Ez_2}{\varkappa}.$$

Z szukanymi (wyrównanymi) wartościami m, n równanie (22) da błędy wyrównania

$$mA + nT + Q - B = \lambda$$

a metoda najmniejszych kwadratów wymaga tu, by $\Sigma \lambda^2$ była minimalną, więc

$$\sum_1^N (mA + nT + Q - B)^2 = \min.,$$

gdzie N oznacza liczbę równań kształtu (22), otrzymanych z wyników doświadczalnych.

Nastąpi to wówczas, jeśli będzie

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial m} = \frac{\partial \Sigma}{\partial n} = \frac{\partial \Sigma}{\partial Q} = 0,$$

$$\text{wtedy} \quad \sum_{1}^{N} [mA + nT + Q - B] \,.\, A = 0,$$

$$\sum_{1}^{N} [mA + nT + Q - B] \,.\, T = 0,$$

$$\sum_{1}^{N} [mA + nT + Q - B] \quad = 0,$$

$$\text{lub} \quad m \Sigma A^2 + n \Sigma AT + Q \Sigma A = \Sigma AB,$$

$$m \Sigma AT + n \Sigma T^2 + Q \Sigma T = \Sigma TB,$$

$$m \Sigma A + n \Sigma T + \Sigma Q = \Sigma B.$$

Z powyższych trzech równań linjowych obliczymy 3 nieznane m, n, $Q = \log q_1$. Wówczas $q_2 = \varkappa\, q_1$.

Mała ilość znanych dotychczas wyników doświadczalnych odnosi się tylko do pocisków jednakowego rodzaju i pancerzów jednakowej jakości, dlatego też pozwala ona na bardzo proste wyrównanie. Wyrównanie to dało $m = n = 1{,}3$, zatem dla danej jakości pancerza wzór bardzo prosty

$$\mathrm{E} = q\,(at)^{1.3}, \tag{23}$$

który dawał tylko nieznaczne błędy $vp - vt = -0{,}7,\ -0.1,\ -1.6,\ +2.4$ w porównaniu z dużo większymi błędami wg wzoru de Marre'a.

D) *Siła przebijania wg wzoru ogólniejszego.*

Wzór (18) jest uogólnieniem wypadków $m = 2$ i 1,5, o których była mowa w ustępach A) i B).

Zbadajmy odległość przebijania wg wzoru (18). Ze względu na równość (17) możemy pisać $\mathrm{E} = \frac{\Omega}{z} a^m$. Ponieważ na krótkiej poziomej drodze jest $E = E_0\, e^{\frac{-2K\beta x}{a}}$, otrzymamy

$$a^m\, e^{\frac{2K\beta x}{a}} = z\frac{E_0}{\Omega} = \mathrm{P}, \tag{24}$$

które to równanie jest analogiczne do równania (13) (gdzie $m = 1{,}5$, $z = 1$).

Z równania (24) otrzymamy odległość przebijania

$$x = \frac{a}{2K\beta}(\ln \mathrm{P} - m \ln a) = \frac{a}{0.8686\,K\beta}(\log \mathrm{P} - m \log a), \tag{24'}$$

co jest analogią równania (13').

Dla pocisku panc. $K = 0.00213$; jeżeli przyjmiemy $\beta = 0.33$, otrzymamy z równania (24') równanie

$$x = 1638\,.\,a\,(\log \mathrm{P} - m \log a). \tag{24'$_A$}$$

Dla granatów pancernych $K = 0.00392$; jeśli przyjmiemy $\beta = 0.42$, otrzymamy z równania (24') równanie

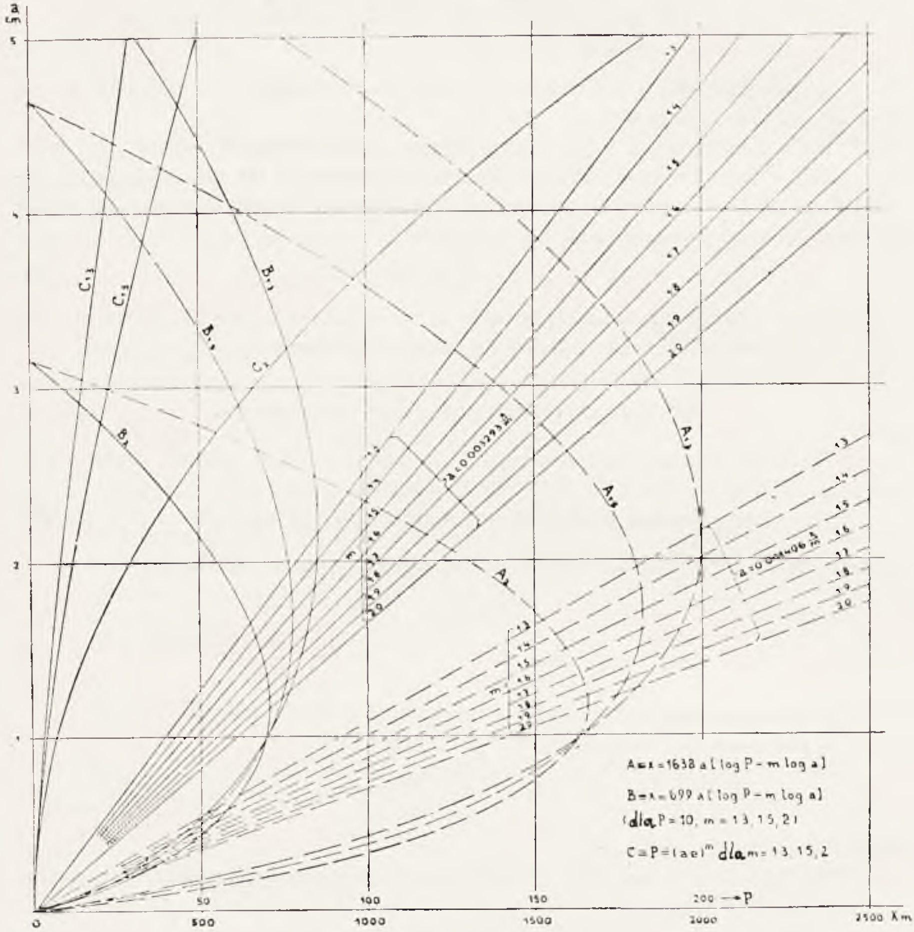
$$x = 699{,}3\,.\,a\,(\log \mathrm{P} - m \log a). \tag{24'$_B$}$$

Wiązki krzywych A, B, dane równaniami (24'$_A$) i (24'$_B$), przedstawione są na wykresie 1 dla wartości $m = 1.3;\ 1.5;\ 2;\ P = 10$.

Zwróćmy uwagę, że dla $a = 1$ równanie (24') daje $x = \frac{\log P}{0.8686\,K\beta}$ jednako-

we dla wszystkich wartości m, tzn. że wszystkie krzywe tej samej wiązki przechodzą przez jeden i ten sam punkt, prócz tego wszystkie one przechodzą przez punkt początkowy.

Widzimy też, że $x = 0$ również dla $\log a = \frac{1}{m} \log P$, gdzie a oznacza kaliber maksymalny, który przy danej wartości P daje jeszcze możliwość przebicia pancerza, lecz tylko bezpośrednio przed wylotem broni ($x = 0$).



Rys. 1.

W wypadkach podanych dla pocisków panc. na rys. 1 jest $x = 0$ dla: $m = 2$, $a = 3{,}16$ cm; $m = 1{,}5$, $a = 4{,}64$ cm; $m = 1{,}3$, $a = 5{,}88$ cm.

Podobnie jak w ustępach A, B, również i tu dla wzoru (18) obliczymy odległość x na której—przy stałej wartości P — pocisk mniejszy posiada większą siłę przebijania aniżeli pocisk większy; otrzymamy

$$x = \frac{m(\log a - \log a')}{0.8686\,(c'\beta - c\beta)}, \tag{25}$$

z którego to równania dla $m = 2$, lub $m = 1.5$ wypływa równanie (10) lub (15).

V. *Najkorzystniejsze warunki techniczne dla broni p-panc.*

Równanie (24) lub (24') daje odległość przebijania x, tj. największą odległość, z której pocisk o kalibrze a danego rodzaju (K, z) wyposażony w początkową energię kinetyczną E_0, przebija pancerz o danej odporności Ω. Równanie (24) mówi dalej, iż odległość przebijania x nie zmienia się u pocisków posiadających różny współczynnik zdolności przebijania z, wyposażonych w różną początkową energię kinetyczną E_0, jeśli równocześnie zmienimy odporność pancerza Ω w ten sposób, by wyraz $z \cdot \frac{E_0}{\Omega} = P$ pozostał wielkością stałą.

Jeżeli P = const. to dla jakiegoś kalibru a_m otrzymamy *największą odległość przebijania*—jak wynika z wykresu 1.

Kaliber ten obliczymy z warunku $\frac{dx}{da} = 0$, zastosowanego w równaniu (24'). Otrzymamy

$$a_m = \frac{1}{e} \cdot P^{\frac{1}{m}}, \tag{26}$$

skąd przez logarytmowanie obliczymy $\ln P - m \ln a_m = m$, co po wstawieniu do równania (24') daje wynik

$$x_m = \frac{m}{2K\beta} \cdot a_m, \tag{27}$$

lub

$$a_m = \frac{2K\beta}{m} \cdot x_m = Gx_m. \tag{27'}$$

Z równania (27') widzimy, że kaliber a_m, któremu odpowiada największa odległość przebijania x_m, jest wprost proporcjonalny do tej odległości x_m.

Współczynnik proporcjonalności w równaniu (27') oznaczony jest

$$G = \frac{2K\beta}{m} \tag{28}$$

Widzimy, że G rośnie wraz ze współczynnikiem $K = ca$, który charakteryzuje *niedogodność balistyczną* użytego rodzaju pocisku.

Z równania (26) widzimy dalej, że każdej innej wartości $P = z\frac{E_0}{\Omega}$ odpowiada inny kaliber a_m ze swoją największą odległością przebijania, a mianowicie: odpowiedni kaliber a_m jest proporcjonalny do m-tego pierwiastka z P. Jednakże $P = z\frac{E_0}{\Omega}$ jest wielkością tym większą, im większy jest współczynnik z zdolności pocisku przebijania pancerza, im większa jest początkowa energia kinetyczna pocisku E_0 i im mniejsza jest odporność pancerza Q. P charakteryzuje zatem *przewagę pocisku* (wystrzelonego z kinetyczną energią E_0) nad danym pancerzem. Wraz ze

wzrastającą przewagą P rośnie również kaliber a_m, odpowiadający maksymalnej odległości x_m, która również wzrasta.

Z równania (26) wynika $(ea_m)^m = P = z \frac{E_0}{\Omega}$

zatem

$$E_0 = \frac{\Omega}{z} \cdot (ea_m)^m = \frac{\Omega}{z} (e\, G\, x_m)^m \qquad (29)$$

Równanie (29) mówi: do przebicia danego pancerza (Q) na wszelkich odległościach mniejszych od x_m przez pocisk, posiadający współczynnik zdolności przebijania z, wystarczy *najmniejsza początkowa energia kinetyczna* E_0, dana równaniem (29), jeśli równocześnie użyjemy kalibru a_m, danego równaniem (27′), który w danym wypadku jest ***kalibrem najbardziej korzystnym.***

Jaką energię kinetyczną E_m i jaką szybkość v_m posiadać będzie pocisk na odległości x_m?

Wg równań (17), (18) jest $\frac{\Omega}{z} = \frac{E}{a^m} = \frac{E_m}{a_m{}^m}$, co wstawiamy do równania (29) i

otrzymamy $E_m = E_0 \cdot e^{-m}$. (30)

Ponieważ $E_m = \frac{p}{2\,g} v_m{}^2$, $E_0 = \frac{p}{2\,g} v_0{}^2$, z równania (30) wynika

$$v_m = v_0 \cdot e^{\frac{-m}{2}} \qquad (31)$$

Dla wzoru de Marre'a ($m = 1{,}5$); $E_m = e^{-1,5}\, E_0 = 0{,}2231\, E_0$; $v_m\, e^{-0,75}\, v_0 = 0{,}4724\, v_0$

Dla wzoru autora ($m = 1{,}3$). $E_m = 0{,}2725\, E_0$; $v_m = 0{,}5221\, v_0$.

Wyprowadzone wzory zastosujemy obecnie do obu rodzajów pocisków broni p-panc., tj.

a) do pocisków panc., dla których $K = 0{,}00213$, $k = 0{,}021$, $\beta = 0{,}33$,

b) do granatów panc., dla których $K = 0{,}00392$, $k = 0{,}0165$, $\beta = 0{,}42$.

Równocześnie bierzemy pod uwagę wzór (23), tj. $m = n = 1{,}3$.

Według równania (28) obliczymy

dla poc. panc.:

$$G_a = \frac{2{,}000213 \cdot 0{,}33}{1{,}3} = -\,0{,}00108,$$

$$a_m = 0{,}00108\, x_m \qquad (27'a)$$

dla gran. panc.

$$G_b = \frac{2 \cdot 0{,}00392 \cdot 0{,}42}{1{,}3} = 0{,}00253,$$

$$a_m = 0{,}00253\, x_m \qquad (27'b)$$

Na wykresie 1 proste $a_m = Gx_m$, odpowiadające różnym wartościom $m = 1{,}3$; $1{,}4$; $1{,}5$ .... 2-kreskowane dla wypadku a), pełne dla wypadku b). Tamże krzywe $C_{1,3}$; $C_{1,5}$; C_2, przedstawiają równanie (26) dla $m = 1{,}3$; $1{,}5$; 2.

Równania 27′a, 27′b dają nam niespodziewany wynik rozwiązania zagadnienia najkorzystniejszych kalibrów dla broni ppanc. Najkorzystniejsze kalibry a_m, obliczone według powyższych równań 27′a i 27′b. są o wiele mniejsze aniżeli kalibry używane dotychczas.

Np. dla pocisków panc. $x_m = 500$ m; $a_m = 5{,}4$ mm.
dla $x_m = 1{,}000$ m; $a_m = 10{,}8$ mm (c.k.m. Madsena ma kaliber 11.35 m),
dla gran. panc. i $x_m = 1000$ m, $a_m = 25{,}3$ mm.

Wnioski; 1. Jeśli oceniamy korzyść kalibru broni ppanc. wyłącznie z punktu widzenia siły przebijającej pocisków, to najbardziej korzystny kaliber broni ppanc. jest wprost proporcjonalny do odległości, na której pancerz ma być przebity. Wielkość tego kalibru nie zależy wogóle ani od odpornońci Ω *pancerza, który ma być przebity, ani od zdolności z pocisku, przeznaczonego do przebicia pancerza. Jest jednak wprost proporcjonalna do współczynnika* $K = ca$, *który jest iloczynem z balistycznego współczynnika pocisku i jego kalibru. Współczynnik K dla pocisków podobnych (i podobnie skonstruowanych) różnych kalibrów jest wielkością stałą, niezależną od kalibru. Jeśli u danego kalibru* a_m *poprawimy (zmniejszymy) współczynnik balistyczny pocisku c przez ulepszenie jego kształtu lub powiększenie jego ciężaru, to na skutek tego zmniejszy współczynnik K, a tym samym zwiększy się odgległość* x_m, *dla której dany kaliber jest najkorzystniejszy.*

2. Bez względu na zdolność z pocisku i stan odporności Ω *pancerza, który ma być przestrzelony na wszystkich odległościach mniejszych od* x_m, *spełnimy to zadanie przy najmniejszej początkowej energii kinetycznej* E_0 *pocisku wówczas, gdy wybierzemy dla niego najkorzystniejszy kaliber* a_m, *dany równaniem (27'). Ta niezbędna najmniejsza początkowa energia kinetyczna* E_0 *dana jest równaniem (29). Z niego widzimy, że jest ona wprost proporcjonalna do odporności* Ω *pancerza i odwrotnie proporcjonalna do zdolności z pocisku do przebicia pancerza.*

3. Z równania (27') wynika zaś, że każdemu kalibrowi a_m *odpowiada pewna odległość* x_m, *dla której* a_m *jest kalibrem najkorzystniejszym (tylko z punktu widzenia siły przebijania). Jeśli równocześnie dana jest początkowa energia kinetyczna* E_0 *i współczynnik z pocisku, wówczas z równania (29) możemy obliczyć odporność* Ω *pancerza, który pocisk z danej broni przebija na wszelkich odległościach* $x < x_m$.

Po obliczeniu x_m, Ω *możemy powiedzieć, że dana broń jest najkorzystniejszą bronią dla odległości strzelania* $x < x_m$ *przeciwko broni panc. z opancerzeniem, posiadającym odporność mniejszą od* Ω.

Rozpatrzmy praktycznie wartości powyższego rozważania.

Rozważnie to opiera się na powszechnie znanych prawach balistyki wewnętrznej oraz na danych empirycznych dotyczących siły przebijania pancerza.

Upraszczające założenie odnośnie prostych poziomych torów, użyte w pow. rozwiązaniu, uzasadnione jest w wypadku krótkich i płaskich torów pocisków panc., albowiem błędy wynikłe na skutek tego uproszczenia są minimalne i mogą być pominięte tym więcej, im krótszy jest tor i im większa jest szybkość pocisku na tym torze.

Wyraźnie ograniczamy się tu tylko do małych kalibrów ($a < 5$ cm). Z tego względu nasze rozwiązanie nie jest czystą teorią, lecz ma zastosowanie praktyczne.

Można jednak na podstawie wyprowadzonych równań ocenić również przebijalność armat morskich: dla $X_m = 10$ km; $a_m = 253$ mm; dla $X_m = 15$ km; $a_m = 380$ mm.

Autor na podstawie powyższego kryterium w odniesieniu do dotychczasowych broni ppanc. ocenia je w ten sposób, że z punktu widzenia siły przebijania pocisków nie są one rozwiązane korzystnie. Kalibry dotychczasowej broni ppanc. są zbyt duże, a szybkości początkowe ich pocisków są zbyt małe.

Przy tym wszystkim nie wolno zapominać, że dzisiejsza technika broni ppanc. nie jest jeszcze w możności osiągnąć takich szybkości początkowych, jakie wypływają z powyższego rozwiązania. Rzut oka na okolicę maksimum krzywych, A, B na rys. 1 wyjaśnia, że gdy znacznie zwiększymy kaliber z jej najbardziej korzystnej wartości a_m na wartość większą a (np. $a = 1,5\ a_m$), odległość przebijania zmniejszy się stosunkowo mało ze swej wartości maksymalnej x_m na x (np. $x = 0,9\ x_m$) i odwrotnie: zwiększenie nieznaczne odległości przebijania sporo zwiększy kaliber i za to zmniejszy wymaganą szybkość początkową.

Odpowiednio do doświadczeń z 2 rodzajami pocisków panc., dzieli się broń ppanc. na 2 rodzaje:

a) na broń lekką, o mniejszych kalibrach, strzelającą tylko pociskami panc. (nie wybuchowymi);

b) na broń cięższą, o kalibrze większym, strzelającą granatami panc.

Pocisk broni ppanc. musi nie tylko przestrzelić pancerz, lecz za pancerzem musi posiadać jeszcze dostateczną energię dla swego zadania ostatecznego, którym jest zranienie obsługi lub uszkodzenie mechanizmu wozu. Doniosłe tu znaczenie posiadają granaty panc., wybuchające dopiero po przebiciu pancerza.

Jednakże broń pod b) jest o wiele cięższa, aniżeli mogłaby być broń a) z pociskami o tej samej sile przebijania. Poza tym należy wziąć pod uwagę, obok innych warunków — szybkostrzelność i celność ognia. Stworzenie broni automatycznej jest tym trudniejsze, im większy jest jej kaliber. Celność ognia zmniejsza się szybciej, aniżeli wzrasta odległość strzelania — szczególnie przy strzelaniu do celów ruchomych.

Wszystkie powyższe względy przemawiają za obu rodzajami (a i b) broni ppanc.

VI. Praktyczne zastosowanie teorii broni najbardziej korzystnej przy obliczaniu jej warunków technicznych.

A. Dla broni ppanc. stawiamy warunek przebicia pancerza o odporności $\Omega_m = 1000$ na odl. $x_m = 1200$ m i ustalamy najkorzystniejsze warunki techniczne (kal. a, ciężar pocisku p, jego współczynnik balistyczny c, przewaga P, szybkość początkowa v_0, początkowa energia kinetyczna E_0, ciężar lufy H w przybliżeniu), które wypływają z powyższych obliczeń. Jest rzeczą zrozumiałą, że dla granatów panc. otrzymamy inne warunki techniczne aniżeli dla pocisków panc. jednolitych.

a) *Dla pocisków panc.*

Według równania (27'a) otrzymamy

$a_m = 0.00108\ .\ 1200 = 1,296$ cm, więc $p = k\ .\ a_m^3 = 0,021\ .\ 1,296^3 = 0,0457$ kg $= 45,7$ g,

$$a = \frac{K}{a_m} = \frac{0,00213}{1,296} = 0,00164,$$

z równania (26) $P = (e a_m)^m = (2,718\ .\ 1,296)^{1,3} = 5,1395$,

$z\ E_0 = p\ \Omega_m = 5,1395\ .\ 1000 = 5139,5$ mkg.

Dla $z = 1$ jest $E_0 = 5139,3$ mkg,

$$v_0 = \sqrt{\frac{2\,g\,E_0}{p}} = \sqrt{\frac{2\ .\ 9,81\ .\ 5139,2}{0,0457}} = 1485 \text{ m/sek.},$$

$$H = \frac{E_0}{266} = \frac{5139,5}{266} = 19 \text{ kg}.$$

Na granicy siły przebijania danego pancerza ($x_m = 1200$ m) pocisk będzie posiadał szybkość $v_m = 0{'}5221\ v_0 = 0{'}5221 . 1485 = 775$ m/sek, a energię kinetyczną $E_m = 0.2725\ E_0 = 0.2725 . 5139{'}5 = 1400{'}5$ mkg.

Jak zmieni się odległość przebijania, jeśli w tych samych warunkach $\Omega_m = 1000$; $P = 5{'}1395$; $z = 1$; $E_0 = 5139{'}5$ mkg (zatem mniej więcej w wypadku jednakowego ciężaru lufy $H = 18$ kg) powiększymy kaliber z wartości $a_m = 1{'}296$ cm na $a = 1{'}5$ cm?

Otrzymamy

$$p = ka^3 = 0{'}021 . 1{'}5^3 = 0{'}071 \text{ kg} = 71 \text{ g},$$

$$c = \frac{K}{a} = \frac{0{'}00213}{1{'}5} = 0{'}00142,$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g\,E_0}{p}} = \sqrt{\frac{2 . 9{'}81 . 5139{'}5}{0{'}071}} = 1192 \text{ m/sek.}$$

Z równania (24'$_A$) $x = 1638 . 1{'}5 (\log 5{'}1395 - 1{'}3 \log 1{'}5) = 1184$ m $= 0{'}987\ x_m$.

Pomimo zwiększenia kalibru niemal o 16%, odległość przebijania zmniejszyła się tylko o 1%.

b) *Dla granatów pancernych* według równania (27'b) otrzymamy:

$a_m = 0{'}00253 . 1200 = 3{'}036$ cm, a więc $p = k\ a_m^3 = 0{'}0165 . 3{'}036^3 = 0.462$ kg $= 462$ g,

$$c = \frac{K}{a_m} = \frac{0{'}00392}{3{'}036} = 0{'}00129,$$

$P = (e\ a_m)^m = 2{'}718 . 3{'}036)^{1\ 3} = 15{'}543$,

$zE_0 = PQ_m = 15{'}543 . 1000 = 15{,}543$ mkg.

Dla $z = 1$ jest $E_0 = 15.543$ mkg,

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g\,E_0}{p}} = \sqrt{\frac{2 . 9{'}81 . 15543}{0{'}462}}$$

$$v_0 = 812 \text{ m/sek},$$

$$H_0 = \frac{E_0}{266} = \frac{15543}{266} = 58 \text{ kg.}$$

Na granicy siły przebijania danego pancerza ($x_m = 1200$ m) będzie posiadał pocisk szybkość $v_m = 0.5221\ v_0 = 0.5221.812 = 424$ m/sek a energię kinetyczną

$$E_m = 0{'}2725.\ E_0 = 0{'}2725.15543 = 4235 \text{ mkg.}$$

Jak zmieni się odległość siły przebijania, jeśli w jednakowych warunkach $\Omega_m = 1000$; $P = 15{'}543$; $z = 1$; $E_0 = 15543$ mkg (zatem mniej więcej w wypadku jednakowego ciężaru lufy $H = 58$ kg) powiększymy kaliber z wartości $a_m = 3{'}036$ cm na $a = 4$ cm?

Otrzymamy

$p = K . a^3 = 0{'}0165.4^3 = 1{'}056$ kg $= = 1056$ g.

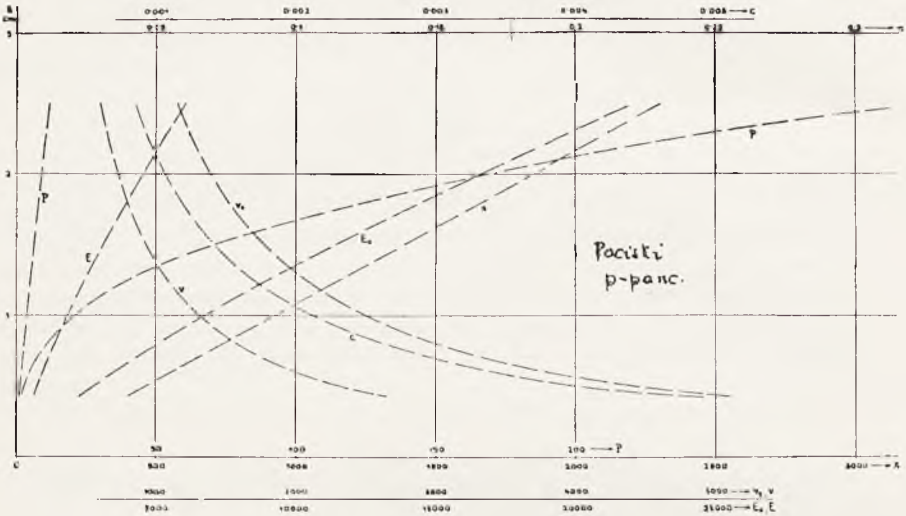
$$c = \frac{K}{a} = \frac{0{'}00392}{4} = 0{'}00098,$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g\,E_0}{p}} = \sqrt{\frac{2.9{,}81.15543}{1{,}056}} = 537 \text{ m/sek},$$

Z równania (24'B) $x = 699{,}34\,(\log 15{,}543 - 1{,}3 \log 4) = 1144\ m = 0{,}953\ x_m$.

Pomimo powiększenia kalibru niemal o 32%, odległość przebijania zmniejszyła się tylko o 5%.

B. Jeżeli dany pocisk na odległości x_m przebija pancerz, posiadający odporność Ω_m, to na odległościach $x < x_m$ przebije pancerze bardziej odporne $(\Omega > \Omega_m)$.



Rys. 2.

Obecnie zbadamy, jak dalece wraz z odległością x zmienia się odporność Ω pancerzy, przebijanych danym pociskiem.

Według równania (17) i (18)

$$Q = \frac{z}{a^m} : \quad E = \frac{z}{a^m}\, E_0\, e^{\frac{-2\,K\,\beta\,x}{a m}} = \Omega_0 \,.\, \nu^x, \tag{32}$$

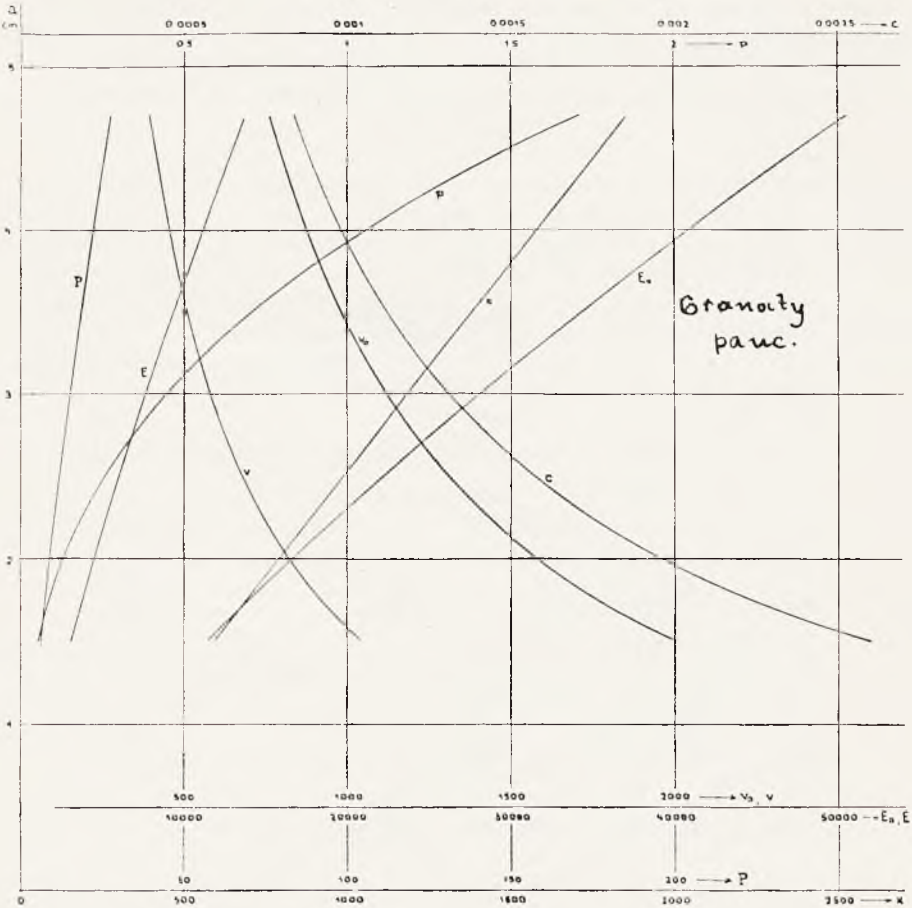
gdzie dla skrócenia oznaczamy:

$$e^{\frac{-2\,K\,\beta}{a m}} = \nu \tag{33}$$

i gdzie

$$\Omega_0 = \frac{z}{a^m}\, E_0 \tag{32_0}$$

oznacza odporność pancerza, który dany pocisk przebija tuż przed wylotem lufy $(x = 0)$.



Rys. 3.

Z równania (30) wstawiamy $E_0 = E_m\, e^m$ do równania (32_0).

Otrzymamy $\Omega_0 = \dfrac{z}{a^m} E_m\, e^m = e^m\, \Omega_m$, (34)

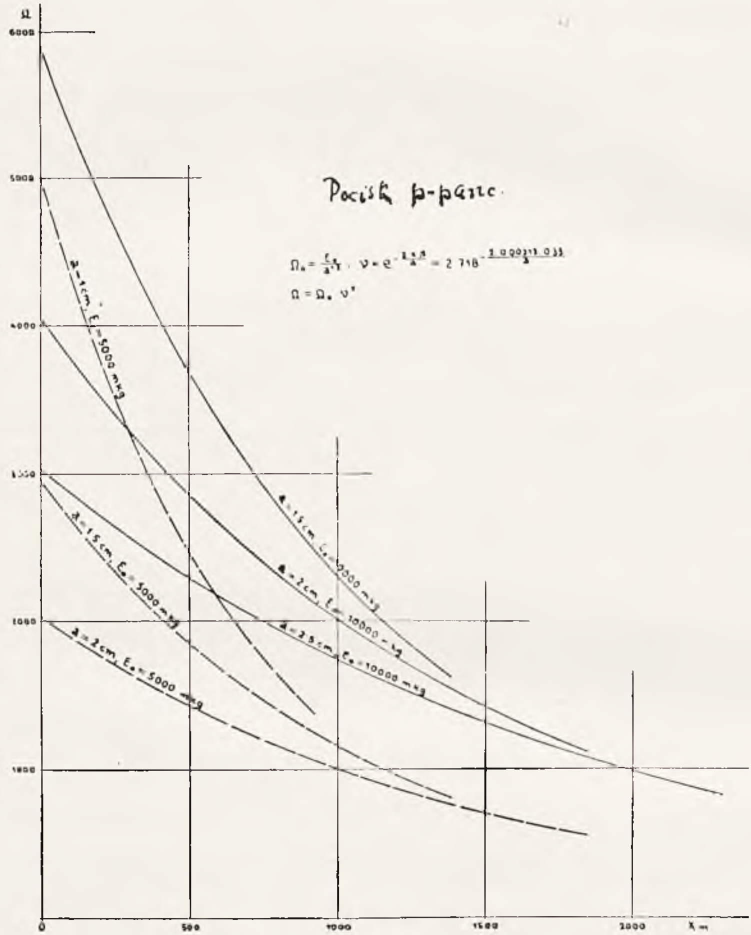
albowiem $\dfrac{z}{a^m} E_m = \Omega_m$.

Według równania (27) $\dfrac{2\,K\beta}{a_m} = \dfrac{m}{x_m}$,

więc $\nu = e^{-\frac{m}{x_m}}$. (33′)

Równania (34), (33′), (32) mówią: *dla każdej broni p-panc., której najkorzystniejsze warunki techniczne wyliczone są z przepisanej pewnej odległości maksy-*

malnej przebijania x_m dla pancerzy jednakowej odporności Ω_m, otrzymamy jednakową wielkość stałą ν [równanie (33)] oraz ten sam przebieg Ω w zależności od x (równanie 32). Oznacza to, że wszystkie — w powyższy sposób rozpatrywane — rodzaje broni są równowartościowe pod względem siły przebijania ich pocisków.



Rys. 4.

Np. w wypadkach wyżej obliczanych (a, b) otrzymamy

$$\nu = e^{\frac{-m}{x_m}} = 2{\cdot}718^{\frac{-1{\cdot}3}{2200}} =$$

$$= 2{\cdot}718^{-0{\cdot}0108} = 0{\cdot}99892,$$

$$\Omega_0 = \Omega_m \,.\, e_m = 1000 . 2{\cdot}718^{1.3} = 3669;$$

$$\Omega = 3669 . 0{\cdot}99892^{x}.$$

Uwaga:

Jeśli wstawimy do równania (29) $m = 1{\cdot}3$; $\Omega = q \cdot t^{1{\cdot}3}$, otrzymamy wyrażenie:

$$E_0 = \frac{q}{z}(\varrho\, a_m\, t)^{1{\cdot}3}.$$

W ten sam sposób, jednakże dla innego pancerza o większej odporności Ω_m, zostały obliczone wartości p, c, P, E_0, v_0, E_m, v_m, x_m, a_m zawarte w poniższych tabelkach a i b. Tabelka a odnosi się do pocisków panc. (2 $G_a = 0.0010814$), tabelka b — do granatów panc. ($G_b = 0.002533$). Wg Malavala współczesne prochy mogą dawać max $v_0 = 2000$ m/sek.

Tabelki zawierają pewne kalibry; a odpowiadające im odległości x_m zostały obliczone z równań ($27'_a$ i $27'_b$).

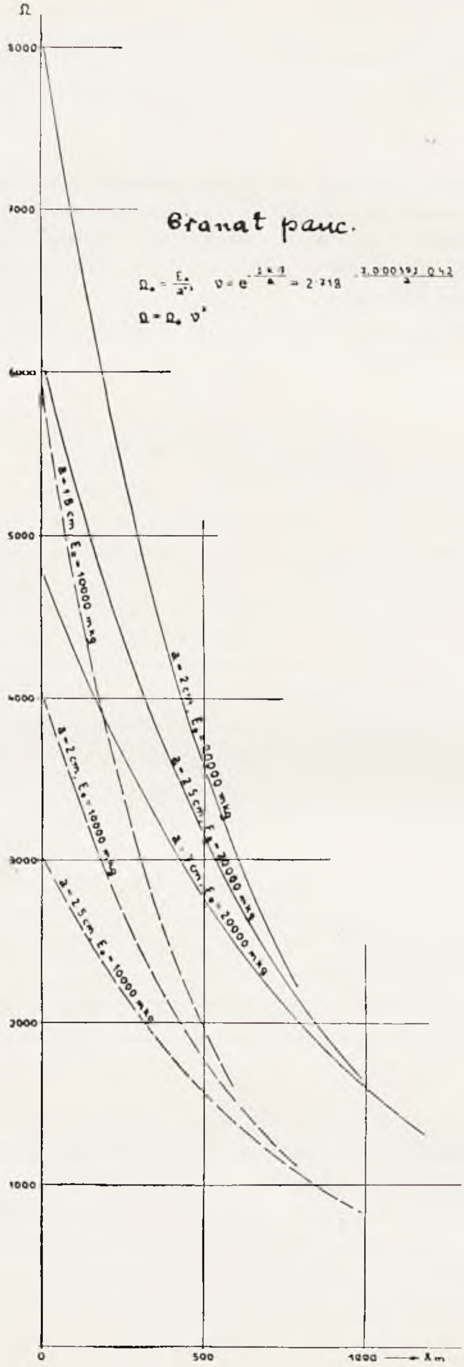
Tabelka a (pociski panc.).

$K = 0{\cdot}00213$, $k = 0{\cdot}021$, $\beta = 0{\cdot}33$,
$m = 1{\cdot}3$, $Ga = 0{\cdot}0010814$, $z = 1$.

a_m	x_m	p	10^4c	E_o	v_o	E_m	v_m	P
cm	*m*	*g*	—	*mkg*	*m/sec*	*mkg*	*m/sec*	—
0·433	400	1·7	49·2	2270	5118	619	2672	1·23
0·792	732	10·4	26·9	4982	3061	1358	1598	2·71
1·0	925	21·00	21·3	6747	2511	1839	1311	3·67
1·5	1387	70·9	14·2	11428	1779	3115	929	6·22
2·0	1850	168·0	10·6	16612	1393	4527	727	9·04
2·5	2312	328·1	8·52	22203	1152	6051	602	12·08

Zależności x_m, p, e, P, E_0, v_0, E_m, v_m od kalibru a przedstawiają wykresy 2 i 3 dla tych wypadków, dla których odnoszą się tabelki a i b.

Na wykresach 4 i 5 równanie $\Omega = \Omega_0\, v^x$ przedstawione jest za pomocą krzywych, według których ze wzrastającą odległością x zmniejsza się odporność Ω pancerza, który jest jeszcze przebijany bądźto pociskiem panc. (wykr. 4) bądź granatem panc. (wykr. 5) o kal. $a = 1$; 1,5; 2; 2,5 cm ewent. $a = 1{,}5$; 2; 2,5; 3 cm o początkowej energii kinetycznej $E_0 = 5000{,}10000$ mkg i odpowiednio $E_0 = 10000$, 20000 mkg.



Granat panc.
Ω
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
500
1000 —— λ m
a = 1.8 cm E₀ = 10000 mkg
a = 2 cm E₀ = 20000 mkg
a = 2.5 cm E₀ = 20000 mkg
a = 2 cm E₀ = 10000 mkg
a = 2.5 cm E₀ = 10000 mkg

Rys. 5.

Tabelka b (granaty pancerne).

$K = 0{\cdot}00392$, $k = 0{\cdot}0165$, $\beta = 0{\cdot}42$,
$m = 1{\cdot}3$, $Gb = 0{\cdot}002533$; $z = 1$.

a_m	x_m	p	$10^4 c$	E_0	v_0	E_m	v_m	P
cm	*m*	*g*	—	*mkg*	*m/sec*	*mkg*	*m sec*	—
1·5	592	55·7	26·1	11428	2001	3115	1047	5·22
2·0	790	132·0	19·6	16612	1571	4527	820	9·04
3·0	1187	445·5	13·1	28140	1113	7669	581	15·31
3·7	1487	849·4	10·5	37218	927	10143	484	20·24
4·7	1856	1713·1	8·34	50441	760	13748	397	27·43

S. K.

BIBLIOGRAFIA

„Gospodarstwo wojenne" dr M. Orłowski. Praca oparta na bardzo licznej literaturze polskiej i zagranicznej (niemieckiej, francuskiej i angielskiej) ma na celu wypełnić lukę, jaka w tej dziedzinie u nas istnieje. W części pierwszej autor omawia rozwój nauki o gospodarstwie wojennym, jej zakres i wpływ wojny na ustrój gospodarczy, na konsumcję, obrót i ustrój pieniężny. Nadmienia o wpływie, jaki wywarła wojna światowa na gospodarkę. Część druga poświęcona jest właściwej wojennej polityce gospodarczej, a więc polityce agrarnej, aprowizacyjnej, handlowej i przemysłowej. Ta ostatnia obejmuje zagadnienia związane z mobilizacją przemysłu. W rozdziale tym omówiony jest stopień naszej samowystarczalności w dziedzinie przemysłowej. W końcu podaje autor charakterystykę demobilizacji gospodarstwa narodowego, czyli powrót do normalnych stosunków gospodarczych.

„Obliczenia zapalników" inż. K. Wiszowaty. 1938 r. Wydawnictwo Zakł. Amun. „Pocisk". Omawiana praca jest zebraniem i usystematyzowaniem metod obliczania zapalników art. prochowych ogłaszanych w literaturze francuskiej i włoskiej. Spis rozdziałów: Ogólne pojęcia o zapalnikach uderzeniowych i czasowych i o ich działaniu. Teoretyczne zadania mechaniki stosowane przy obliczaniu zapalników. Obliczenia nieruchomych części i obliczenia ruchomych części zapalników. Obliczania przy próbach. Obliczania zapalników czasowych. Wzmianka o zapalnikach mechanicznych.

„Łożyska maszyn wirujących" i *„Teoria drgań giętnych wałów wirujących"* prof. dr inż. W. Korewa-Borowicz. 1938 r.

WARUNKI OGŁASZANIA PRAC W „WIADOMOŚCIACH TECHNICZNYCH UZBROJENIA".

1. Prace do druku należy przysyłać pod adresem: Redakcja „Wiadomości Technicznych Uzbrojenia" Instytut Techniczny Uzbrojenia, al. Niepodległości 241.

2. Prace powinny być pisane na maszynie lub czytelnie ręcznie, na jednej stronie, z pozostawieniem odstępów między wierszami dla umożliwienia poprawek.

3. Prace powinny być starannie wykończone pod względem stylu i pisowni. Zmiany podczas korekty autorskiej mogą być czynione jedynie na koszt autora.

4. Redakcja przyjmuje jedynie prace nigdzie dotychczas nie drukowane.

5. Redakcja zastrzega sobie prawo czynienia wszelkich poprawek stylistycznych, interpunkcji oraz skracania nadesłanych artykułów, nie naruszając jednak zasadniczych myśli autora. W razie poważniejszych poprawek albo odpowiedniego zastrzeżenia ze strony autora, redakcja poprawioną pracę przesyła autorowi do wyrażenia zgody na opublikowanie jej w poprawionej formie.

6. Redakcja zwraca rękopisy i rysunki lub fotografie, jeżeli autor zastrzega to sobie.

7. Honoraria autorskie wynoszą: za wiersz garmondu 30 gr, za wiersz petitu 36 gr, w wyjątkowych wypadkach redakcja podwyższa honorarium (za prace wybitnej wartości).

8. Rysunki i szkice załączone do prac są honorowane jedynie w razie poprawnego ich wykonania, kwalifikującego je do bezpośrednich zdjęć na klisze. Honorarium za nie oblicza się wg zajmowanych przez nie wierszy garmondu. Koszty przepisania na maszynie lub przerysowania odlicza się z honorarium.

KOMITET REDAKCYJNY:

ppłk inż. Żebrowski Apolinary
ppłk inż. Pomaski Andrzej
ppłk dr Felsztyn Tadeusz
ppłk inż. Łukaszewski Tadeusz
ppłk s. s. inż. Rakowski Henryk
mjr inż. Szymański Stefan
inż. Czaplicki Stanisław
dr inż. Krauze Leonard
prof. dr inż. Moszyński Wacław
prof. dr inż. Urbański Tadeusz

Redaktor — *ppłk s. s. Vorbrodt Wacław*

Prawo przedruku zastrzeżone.

Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, al. Niepodległości 241, Inst. Tech. Uzbr.

Tel. Redakcji i Administracji: Centrala 8-02-80. wewn. 167.

Warunki prenumeraty: rocznie 6 zł. 80 gr. Nr pojedynczy 1 zł. 70 gr.—
Konto P. K. O. Nr 30254.

Drukarnia J. Jankowski i S-ka. Warszawa, Zielna 20. Tel. 519-77.